



2019—2022年度

「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）／自動運転の高度化に則したHMI及び安全教育方法に関する調査研究」

# 最終成果報告書

2022年8月

学校法人慶應義塾 慶應義塾大学  
国立研究開発法人産業技術総合研究所  
国立大学法人筑波大学  
東京都ビジネスサービス株式会社

本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が管理法人を務め、内閣府が実施した「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）」(NEDO管理番号：JPNP18012)の成果をまとめたものです。

## 目次

1. 課題 A：低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発 .....	6
1.1. はじめに .....	6
1.2. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握 .....	7
1.2.1. はじめに .....	7
1.2.2. 宿泊施設敷地内での実証実験およびドライブレコーダ映像の分析 .....	8
1.2.3. 自動運転車および手動自動車と周囲交通参加者とのインタラクションの現状 .....	18
1.3. 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析とコミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析 .....	32
1.3.1. 車両挙動や eHMI を利用した自動運転車とのコミュニケーションの負の影響の低減・抑制に関する検討 .....	32
1.4. 自動運転化レベル 4 を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および eHMI の実装 .....	48
1.4.1. 実施目的 .....	48
1.4.2. eHMI の仕様 .....	48
1.4.3. eHMI の取付具 .....	49
1.4.4. 前方用 eHMI の実装 .....	49
1.4.5. 後方用 eHMI の実装 .....	51
1.4.6. 前方/後方用 eHMI の実装 .....	52
1.4.7. eHMI 取付に伴う基準緩和申請 .....	53
1.4.8. 本節のまとめ .....	53
1.5. 単路部や交差点を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案 .....	54
1.5.1. 試験走路環境を利用した横断ケース時の歩行者の非効率な行動や不安感を低減する自動運転サービスカーのコミュニケーション方法に関する研究 .....	54
1.5.2. 自動運転サービスカーの eHMI が後続ドライバーの認識・確認行動に与える影響に関する研究 .....	64
1.6. 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自	

動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案 .....	73
1.6.1. 接近・回避ケースにおける歩行者の判断・行動を支援する自動運転サービスカーのコミュニケーション方法に関する事前検討 .....	73
1.6.2. 「視覚・eHMI」「聴覚・eHMI」「路面標示」を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討 .....	80
1.6.3. ビデオ視聴を活用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援方法に関する検討 .....	84
1.6.4. 「視覚・eHMI」「聴覚・eHMI」「路面標示」を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討 .....	89
1.6.5. 視覚と聴覚の eHMI を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討 .....	93
1.6.6. 道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験に基づいた eHMI 等の効果検証・提案 .....	100
1.7. 自動運転車に対して周囲交通参加者が備えるべき知識の検証・提案	117
1.7.1. 車両挙動や eHMI を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーションに関する検討 .....	117
1.8. 課題 A のまとめ .....	123
参考文献 .....	126
2. 課題 B: 走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における適切な運転引継ぎのための HMI 等に関する研究開発 .....	128
2.1. システム主導による自動運転から手動運転への遷移 .....	128
2.1.1. 運転交代前の Attentive 状態の評価方法 .....	128
2.1.2. 運転監視時の視認行動 .....	143
2.1.3. Attentive 評価における視認行動の詳細分析 .....	152
2.1.4. 計画的遷移時の Attentive フェーズの最適条件の検討 .....	155
2.1.5. スムーズな運転交代を支援する HMI 要件の検討 .....	164
2.1.6. 視行動による Attentiveness 評価の妥当性の検討 .....	169
2.2. ドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 .....	173
2.2.1. 一般道での OEDR とドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 1 .....	173
2.2.2. ドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 2 .....	176
2.2.3. ドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 3 .....	185
2.2.4. ドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 4 .....	190
2. .... エラー! ブックマークが定義されていません。	



# 1. 課題 A：低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発

## 1.1. はじめに

課題 A では、低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発を実施し、コミュニケーションの設計に関する設計要件や推奨項目を検討するものである。平成 30 年度「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 自動走行システム／大規模実証実験／HMI」[1]においては、自動運転車からの譲り意図をドライバーや歩行者に認識させるには、主として車両挙動（減速挙動・停止挙動）の活用が重要となること、自動運転車からの譲り意図を早いタイミングでドライバーや歩行者に認識させ、行動判断を確信させるためには eHMI の活用が有効となることが確認された。その一方で、eHMI の活用に関して、eHMI のコンテンツによっては、交通参加者の確認行動が減少することなど負の影響を誘発する可能が示唆された。また、eHMI を含めた自動運転車に対する解釈が交通参加者によって多様な傾向を示したことから、安心して円滑なコミュニケーションを実現するには技術的な要素だけでなく、交通参加者への教育等も必要であること示唆された。2019 年度の研究開発からは、低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションを主な対象として研究開発を進める一方で、過年度の研究開発において確認された eHMI を活用する際の負の影響についても本研究開発の検討課題として加えている。

課題 A の研究開発の全体像としては、道の駅等の自動運転実証実験での観測により、低速走行の移動・物流サービス等を対象にした自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションの現状と特徴について分類・整理を行い、コミュニケーションのユースケースを抽出するとともに、VR 実験により、低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と交通参加者のコミュニケーション方法に関して、またオーナーカーの自動運転車と交通参加者の 1 対 1、1 対複数のコミュニケーションにおける負の影響に関してその形態や原因等を分析し、eHMI 等のコミュニケーション方法や運用、交通参加者が備えるべき知識等について検討する。さらに VR 実験や TC（テストコース、試験走路）実験等により、自動運転車と交通参加者とのコミュニケーションの重要なユースケースを対象に、eHMI 等のデザインファクター案や交通参加者のエデュケーションファクター案を抽出し、実証実験等によりそれらの案についての検証を行う。

## 1.2. 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握

### 1.2.1. はじめに

過年度において「中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス」の実証実験にて計測・記録されたドライブレコーダ映像を分析して、低速走行の自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション場面を抽出し、自動運転車と交通参加者との間の非効率なコミュニケーションや不安全的なコミュニケーションの特徴を検討した。その結果、非効率なコミュニケーションや不安全的なコミュニケーションの典型的なユースケースとして、接近・回避ケース（進行中の歩行者や自転車の後方あるいは前方から自動運転車が接近して追いつく場面）、横断ケース（単路や交差点付近を走行する自動運転車の前方を歩行者や自転車が横断する場面）、追越ケース（自動運転車の後方から他車両が接近して追いついてしまい、その他車両が自動運転車を追い越す場面）が抽出され、またそれらのユースケースにおける非効率性と不安全性を改善するためのコミュニケーション方法について机上検討を実施した。

一方、自動運転車と周囲交通参加者の通行区分が不明確であるような共有空間におけるコミュニケーション、特に遊歩道や駐車エリアなどで自動運転車と歩行者のコミュニケーションに関しては実環境を対象にした観測データは少なく、そのようなコミュニケーション場面での特徴を十分に抽出できていない。また自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションの特徴を明確にする上で、一般的な手動運転車（普通自動車）と周囲交通参加者とのコミュニケーションと比較する必要があるが、低速走行の自動運転車に搭載のドライブレコーダではそのようなコミュニケーション場面を観測することはできず、定点観測などを実施する必要がある。

そこで本研究では、共有空間における自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションの特徴を抽出するために、広域な敷地（アミューズメントエリア）を有する宿泊施設の協力のもと、自動運転車と周囲交通参加者の共有空間をそのエリアに設定し、自動運転車に装備したドライブレコーダを利用して周囲交通参加者とのコミュニケーション場面を観測・記録した。また道の駅等のエリアで観測されたコミュニケーションのユースケースと比較することを目的として、国土交通省道路局の協力・連携のもと、道の駅 赤来高原にて定点観測を実施して手動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション観測を実施した。

## 1.2.2. 宿泊施設敷地内での実証実験およびドライブレコーダ映像の分析

### 1.2.2.1. 目的

実道環境における共有空間を対象にした低速走行の自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションで失敗が観測される場面や要因について、特に低速走行の自動運転車と歩行者が混在する共有空間、道路環境での不安全や非効率なコミュニケーション場면을抽出し、不安全や非効率が生じる要因の考察と不安全や非効率を解消する施策を検討することを目的とする。なお本研究は慶應義塾大学理工学部・理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。

### 1.2.2.2. 実証実験の対象地

静岡県御殿場市にある御殿場高原時之栖の協力のもと、時之栖園内の道路ならびに遊歩道を対象に実証実験を実施した。御殿場高原時之栖は、宿泊施設、レジャー施設、運動施設、飲食店等が立地し、地域内外から観光客が多く訪れる。図 1-1 に示されるように、敷地内の道路は歩行者と車両が混合する共有空間となっていた。敷地内の主要な店舗や施設の付近に実験車両が停止するように制御をおこなった。実施期間は 2021 年 8 月 21 日から 8 月 28 日までの 8 日間であった。



図 1-1 御殿場高原時之栖の園内マップ  
(引用 <https://www.tokinosumika.com/guide/>)



### 1.2.2.3. 実証実験で運用した自動運転車両

本実証実験において運用した自動運転車両は、図 1-2 に示されるヤマハ発動機製ゴルフカートであり、慶應義塾大学が所有する実験車両であった。この実験車両は乗車定員 6 人の車両であり、道路上に敷設した電磁誘導線からの磁力を感知して既定ルートを自動運転するものであった。自動運転時の最高速度は 12km/h 程度であったが、歩行者との共有空間を走行することから、関係者の助言に基づいて、自動運転時の最高速度を 6km/h に設定した。なお、手動運転時の最高速度は 20km/h であった。



図 1-2 自動運転車両（同型式の車両写真）

### 1.2.2.4. ドライブレコーダによる撮影対象およびカメラ設置位置

ドライブレコーダのカメラを、車両前方付近の周囲交通参加者の状況記録用、eHMI 点灯/消灯確認記録用、車内状況確認記録用、車両後方付近の周囲交通参加者の状況記録用にそれぞれ 1 台ずつ設定し、車両前方付近の周囲交通参加者の状況記録用および eHMI 点灯/消灯確認記録用はフロントスクリーンに、車内状況確認記録用、車両後方付近の周囲交通参加者の状況記録用は後方荷室ルーフ部にそれぞれ設置した。

### 1.2.2.5. ドライブレコーダの映像データの分析項目

過年度と同様に、映像データの分析項目として、歩行者や自動車などのコミュニケーション対象者の種別、単路部や交差点などの道路環境の種類・形状、接近・回避ケース、横断ケース、追越しケースなどコミュニケーションの種類等を設定した。

### 1.2.2.6. 観測結果

#### (1) コミュニケーション対象者の種別ならびにコミュニケーション観測件数

実証実験において観測された自動運転車とのコミュニケーション対象者の種別について整理した結果を図 1-3 に示す。施設内の道路や遊歩道等を対象に走行していることからコミュニケーション対象者として歩行者がもっとも多く観測されており、次いで自動車が多く観測される結果となった。コミュニケーション対象者として自転車やオートバイの観測数は少なく、アミューズメントエリアであることからセグウェイなどのモビリティも観測された。

これらのうち、コミュニケーション対象者を歩行者と自動車に限定し、コミュニケーションが発生した道路環境の種類について整理した結果を図 1-4 に示す。歩行者については、全体として、単路部や共有空間（シェアードスペース）において多くのコミュニケーションが観測されており、その種類としては接近・回避ケースや横断ケースが多く観測された。交差点においては、横断ケースが多く観測された。一方、自動車については、歩行者とのコミュニケーションと比較して、観測数が少ないが、交差点におけるコミュニケーション観測数が単路部の場合よりもやや多く、交差点では横断ケース、単路部や共有空間では接近・回避ケースがそれぞれ多く観測された。

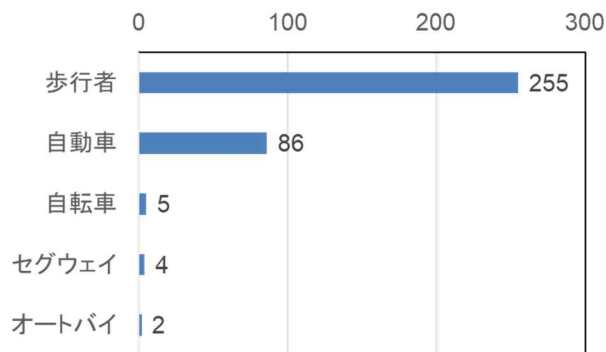


図 1-3 コミュニケーション対象者の種別とコミュニケーション観測件数

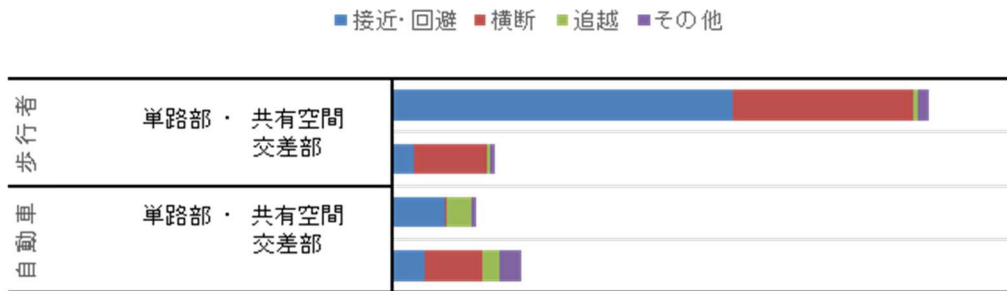


図 1-4 歩行者や自動車を対象にしたコミュニケーション観測数と分類

### 1.2.2.7. 観測されたコミュニケーションの特徴

(1) 歩行者とのコミュニケーションの失敗事例（スマートフォン利用しながら歩行）

低速走行の自動運転車特有の歩行者とのコミュニケーション失敗の事例の一つは、単路部や部、共有空間において、スマートフォン利用しながら歩行している、いわゆる「歩きスマホ」の状態であり、図 1-5 や図 1-6 に示されるように、周囲への注意があまり向けられていない歩行者に自動運転車が接近する場面が該当した（観測件数 7 件）。コミュニケーション失敗の原因としては、歩きスマホの状態による歩行者の周囲状況への注意不足がまず挙げられるが、その一方で低速走行の自動運転車の走行音は小さく、自動運転車の存在に急に気づくこと、電磁誘導線上の軌道から外れて自動運転できないこと（自動運転のまま回避できないこと）などが歩行者との不安全、非効率なコミュニケーションを誘発させていることが考えられる。



図 1-5 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例  
(遊歩道)

(スマートフォンを利用しながら歩行しているため、そもそも歩行者が周囲状況に注意を払っていない状況であることに起因しているが、前方から接近する自動運転車に気づかず、自動運転車も自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)



図 1-6 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例  
(遊歩道)

(スマートフォンを利用しながら歩行しているため、そもそも歩行者が周囲状況に注意を払っていない状況であることに起因しているが、後方から接近する自動運転車に気づかず、自動運転車も自動運転で回避することができず、歩行者との距離によって緊急停止することになり、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)

## (2) 歩行者とのコミュニケーションの失敗事例（高齢者）

図 1-7 や図 1-8 に示されるように、単路部や交差部、共有空間において、若年者と比較して周囲に向けられる注意が低いあるいは周囲状況に気づきにくいと考えられる高齢者などの歩行者に接近する場面が観測された（観測件数 3 件）。コミュニケーション失敗の原因としては、歩行中のスマートフォン利用などはないものの、低速走行の自動運転車の存在に急に気づくこと、電磁誘導線上の軌道から外れて自動運転できないこと（自動運転のまま回避できないこと）などが歩行者との不安全、非効率なコミュニケーションを誘発させていることが考えられる。

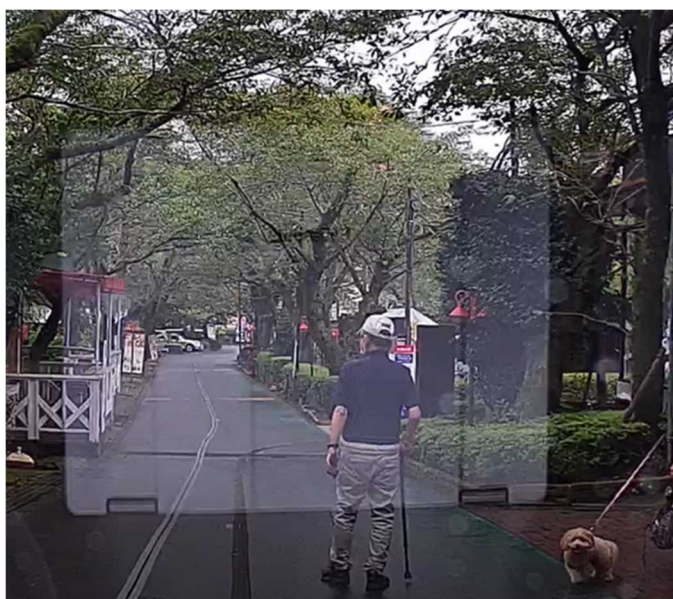


図 1-7 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例  
（単路部）

（高齢の歩行者の後方から自動運転車が接近しているが、歩行者は後方から接近する自動運転車に気づかず、自動運転車も自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている）



図 1-8 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例  
(交差点付近)

(電磁誘導線上の走行軌道に従って自動運転で交差点を右折する自動運転車に対して、高齢の歩行者が前方から歩行速度を緩めることなく接近しており、歩行者は接近する自動運転車が歩行者を避けて走行することを期待している模様であるが、自動運転車は電磁誘導線上から外れて自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)

### (3) 歩行者とのコミュニケーションの失敗事例 (幼児を伴う歩行者)

図 1-9 や図 1-10 に示されるように、単路部や交差点、共有空間において、自動運転車が幼児を伴う歩行者に接近する場面が観測された(観測件数3件)。コミュニケーション失敗の原因としては、低速走行の自動運転車の存在に気づいているが、電磁誘導線上の軌道から外れて自動運転できないこと(自動運転のまま回避できないこと)などを理解していないためか、電磁誘導線上およびその付近からすぐに回避するに至らず、歩行者との不安全、非効率なコミュニケーションを誘発させていることが考えられる。



図 1-9 低速走行の自動運転車と幼児を伴う歩行者とのコミュニケーション  
失敗の事例（遊歩道）

（幼児を伴う歩行者が後方から接近する自動運転車の存在を認識しているが、電磁誘導線上およびその付近から回避しようとせず、非効率、不安全なコミュニケーションに至っている）

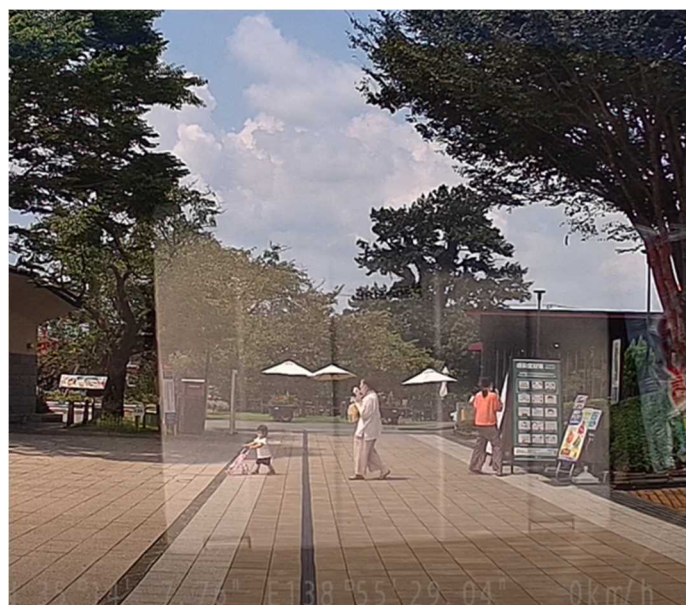


図 1-10 低速走行の自動運転車と幼児を伴う歩行者とのコミュニケーション  
失敗の事例（共有空間）

（幼児を伴う歩行者が側方から接近する自動運転車の存在を認識しているが、電磁誘導線上およびその付近からすぐに回避しようとせず、非効率、不安全なコミュニケーションに至っている）

#### (4) 歩行者とのコミュニケーションの失敗事例（交差点付近）

図 1-11 や図 1-12 に示されるように、交差点付近における自動運転車が自動運転で右折・左折する際に歩行者に接近する場面が観測された（観測件数 3 件）。コミュニケーション失敗の原因としては、低速走行の自動運転車の進路、走行軌道を予想できず、また電磁誘導線上の軌道から外れて自動運転できないこと（自動運転のまま歩行者を避けて走行できないこと）などを理解していないためか、電磁誘導線上およびその付近からすぐに回避するに至らず、また自動運転車からの意図伝達・意図表明がないことから、歩行者との不安全、非効率なコミュニケーションを誘発させていることが考えられる。

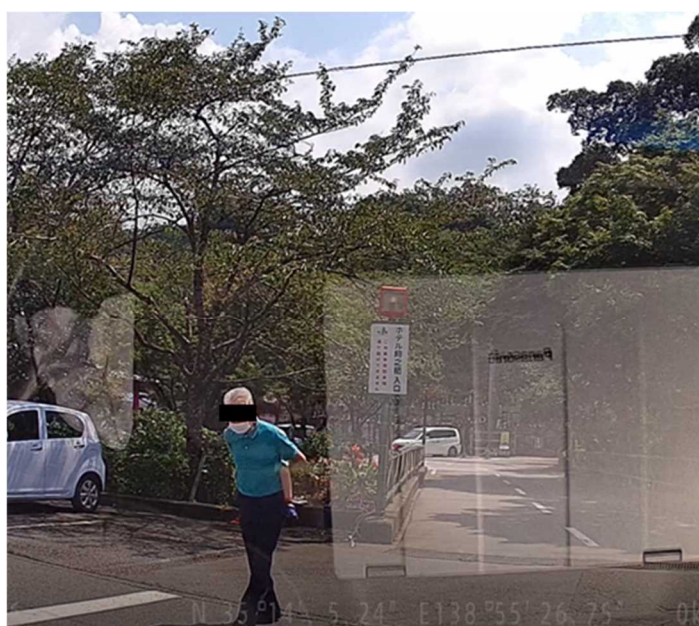


図 1-11 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例  
（交差点にて左折）

（電磁誘導線上の走行軌道に従って自動運転で交差点を左折しようとする自動運転車に対して、歩行者が前方から歩行速度を緩めることなく接近したため、手動介入して自動運転車を停止。自動運転車は電磁誘導線上から外れて自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている）





図 1-12 低速走行の自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の事例  
(交差点にて右折)

(電磁誘導線上の走行軌道に従って自動運転で交差点を右折しようとする自動運転車に対して、歩行者 2 名が前方から歩行速度を緩めることなく接近したため、手動介入して自動運転車を停止。自動運転車は電磁誘導線上から外れて自動運転で回避することができず、不安全、非効率なコミュニケーションに至っている)

### 1.2.3. 自動運転車および手動自動車と周囲交通参加者とのインタラクションの現状

#### 1.2.3.1. 観測方法・分析方法

道の駅 赤来高原（島根県飯石郡飯南町下赤名）において国土交通省が実施している「中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス」の協力・連携のもと、実証実験において自動運転車（ヤマハ発動機製ゴルフカート）の運行ルートの一部を対象に定点観測を実施した（2020年9月～10月）。定点観測により取得した16日分の映像データを用いて、自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション場面ならびに一般の手動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション場面を抽出・分析した。定点観測は、図1-13および図1-14に示されるように、自動運転車が運行する道の駅付近の駐車場および交差点を上方から俯瞰的に撮影できるように映像データを取得した。その映像データから、自動運転車と周囲交通参加者とのインタラクションを83件、一般の手動自動車と周囲交通参加者とのインタラクションを100件（駐車場と交差点それぞれ無作為に50件ずつ抽出）をそれぞれ抽出・比較し、自動運転車と従来の手動自動車との比較によるインタラクションの特徴、違いなどを分析した。本研究は慶應義塾大学理工学部理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。



図 1-13 駐車場付近の映像データの例



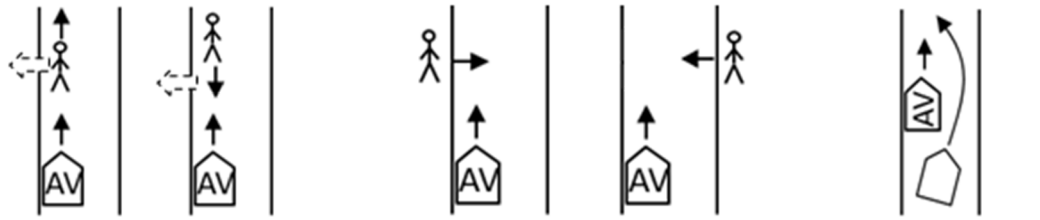
図 1-14 交差点付近の映像データの例

### 1.2.3.2. 分析項目

映像データに基づいて抽出される、自動運転車もしくは手動運転車と周囲交通参加者とのインタラクション場面を対象に分析する項目を表 1-1 に示す。分析する項目は、インタラクション対象者（相手）、インタラクションの種類、インタラクション失敗の有無・種類とした。またインタラクションの種類については、図 1-15 に示されるように、過年度の検討において抽出された典型的なユースケース、接近・回避ケース（すれ違い）、横断ケース、追越ケースの 3 種類とした。

表 1-1 周囲交通参加者とのインタラクション場面での分析項目

Columns	Detail
インタラクション相手	①歩行者, ②自転車, ③オートバイ, ④自動車
インタラクションの種類	①すれちがい（接近、回避等）, ②横断, ③追い越し
インタラクションの失敗の有無	①あり（危険性のある場面）, ②あり（非効率性のある場面）, ③なし



(a) 接近・回避（すれちがい）      (b) 横断      (c) 追越

図 1-15 コミュニケーションの種類

### 1.2.3.3. 観測結果および考察

#### (1) インタラクション対象者の種別

自動運転車との間に観測されたインタラクション対象者ならびに手動運転車（従来の自動車）との間に観測されたインタラクション対象者の結果を駐車場と交差点に分類・整理した。その結果を図 1-16 および図 1-17 にそれぞれ示す。駐車場を対象にした場合、自動運転車、手動運転車の間にインタラクション対象者の種別による違いは観測されず、歩行者・自転車と自動車・バイクがほぼ同様な割合であった。一方、交差点を対象にした場合、自動運転車では、インタラクション対象者はすべて自動車・バイクであったが、手動運転車ではインタラクション対象者はおおむね自動車・バイクであったが、歩行者・自転車も少数観測された。

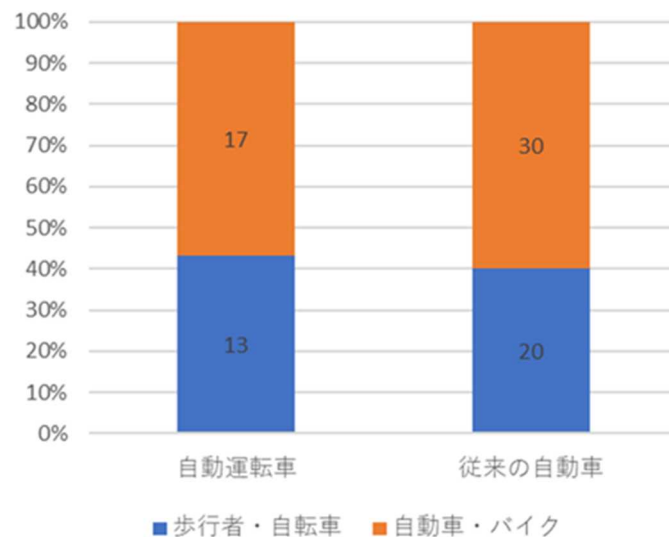


図 1-16 駐車場におけるインタラクション対象者

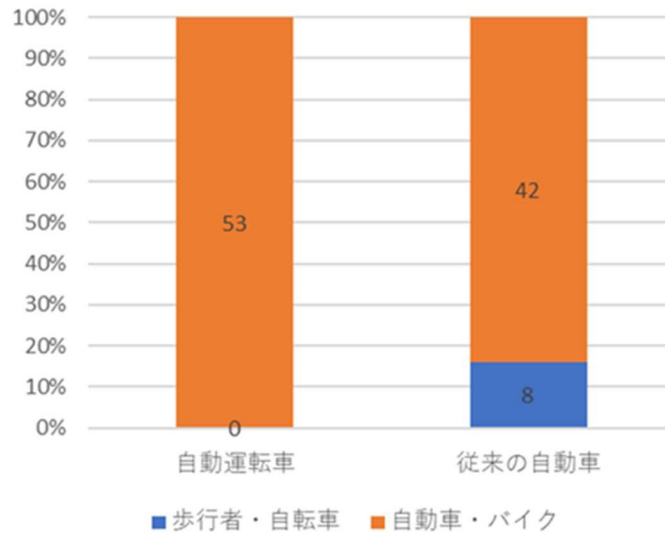


図 1-17 交差点におけるインタラクション対象者

(2) インタラクション種別と観測件数

自動運転車との間に観測されたインタラクション種別ならびに手動運転車（従来自動車）との間に観測されたインタラクション種別の結果を駐車場と交差点に分類・整理した。その結果を図 1-18 および図 1-19 にそれぞれ示す。自動運転車については、積極的に周囲交通参加者の付近を通行しないよう運行されているため、駐車場を対象に手動運転車（従来自動車）と比較すると、接近・回避ケース（すれ違い）の観測件数が少ない結果となった。交差点付近についてはどちらも少ない観測となった。

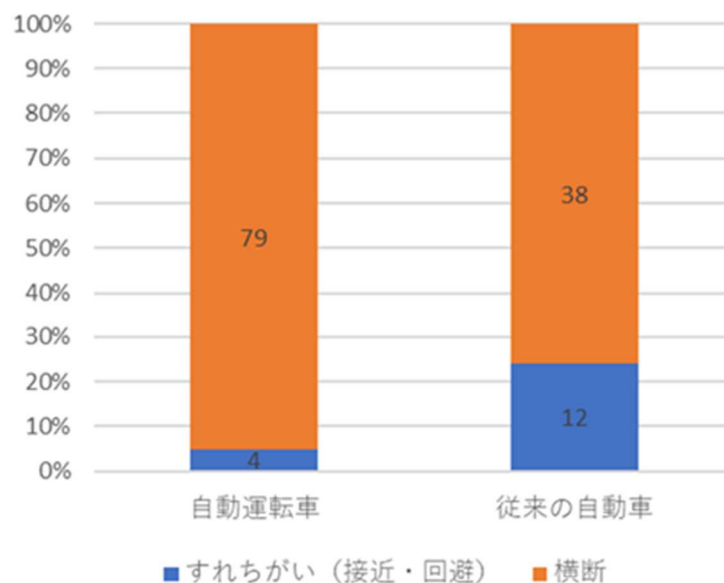


図 1-18 駐車場でのインタラクション種別

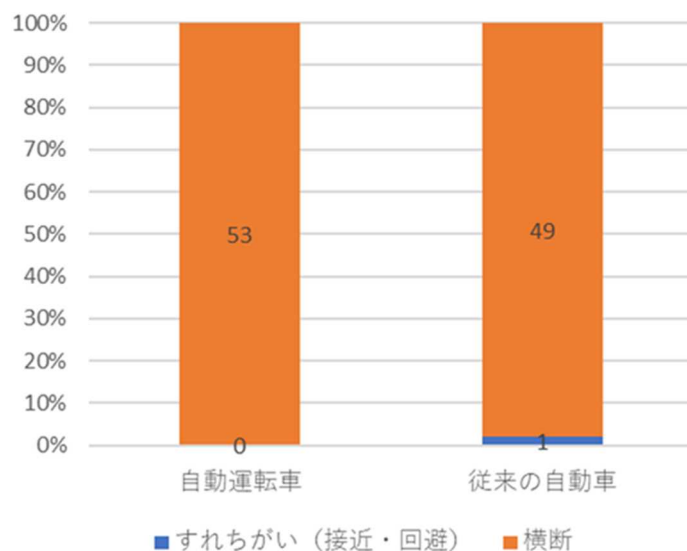


図 1-19 交差点におけるインタラクション種別

### (3) インタラクション失敗の観測件数および特徴

自動運転車との間に観測されたインタラクションの失敗ならびに手動運転車（従来の自動車）との間に観測されたインタラクションの失敗の結果を駐車場と交差点に分類・整理した。その結果を図 1-20 および図 1-21 にそれぞれ示す。自動運転車の場合と手動運転車（従来の自動車）の場合を比較したところ、若干、駐車場における自動運転車の場合でやや観測件数が多い結果となったが、基本的には駐車場、交差点ともにインタラクションの失敗は少数に留まった。

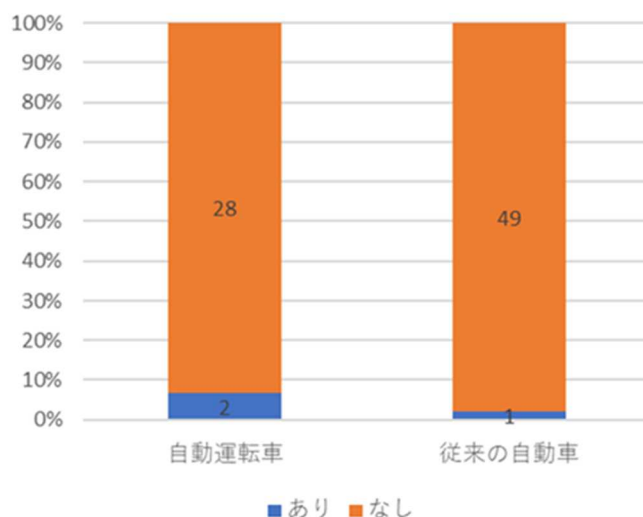


図 1-20 駐車場におけるインタラクションの失敗

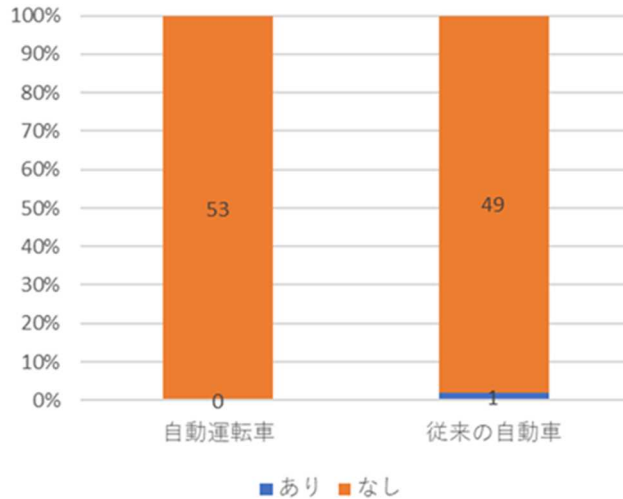


図 1-21 交差点におけるインタラクションの失敗

これらインタラクションの失敗について分析したところ、次のような特徴が抽出された。駐車場における自動運転車と他車両とのコミュニケーション失敗の交通場面の観測例を図 1-22 に示す。この観測事例では、自動運転車が駐車場内の電磁誘導線上を運行している際に、駐車場入口から一般車両の進入が見られたため、優先側の自動運転車が一般車両に進路を譲るために停止したが、その意図を一般車両側が認識できず、お互いに見合った状況に至っている。同様に、駐車場における自動運転車と歩行者とのコミュニケーション失敗の交通場面の観測例を図 1-23 に示す。この観測事例では、歩行者が駐車場内の電磁誘導線が敷設された区間に沿って道の駅の建物に向かって歩行している際に、後方から自動運転車が電磁誘導線上を自動運転で走行、歩行者の後方から接近して停止に至っている。歩行者は後方からの自動運転車の接近に気づかず、手動介入して自動運転車を電磁誘導線上から外れて回避しなければならない状況に至っている。

一方、比較のために、交差点部において手動運転車同士のインタラクション失敗の交通場面の観測例を図 1-24 に示す。この交通場面では、優先側の車両が減速したため、非優先側の車両が進路を譲ってくれたと認識して停止状態から発進したが、優先側の車両は譲る意図は無かったようで、そのまま直進通過している。つまり、手動運転車同士の場合は、交通場面によって優先が自車にあるのか相手にあるのかをドライバーが判断・行動しており、常に相手に優先権があるという前提や安全上の配慮に基づいて運行している自動運転車の場合とは異なっている。

上記に見られるように、自動運転車は電磁誘導線上の走行軌道のみを自動運転し、走行軌道を外れて自動運転できないといった制約に依存したインタラクション失敗や、低速走行することを考慮してインタラクション対象者に積極的に譲ろうとするが、その意図が十分に伝わらないことによるインタラクション失敗が発生している。これらの交通場面に対して、自動運転車からの意図の伝達が適切に実施されれば、インタラクション失敗は生じず、不安全、非効率なコミュニケーションの低減・抑制による安全性、効率性の向上を図れるものと考えられる。

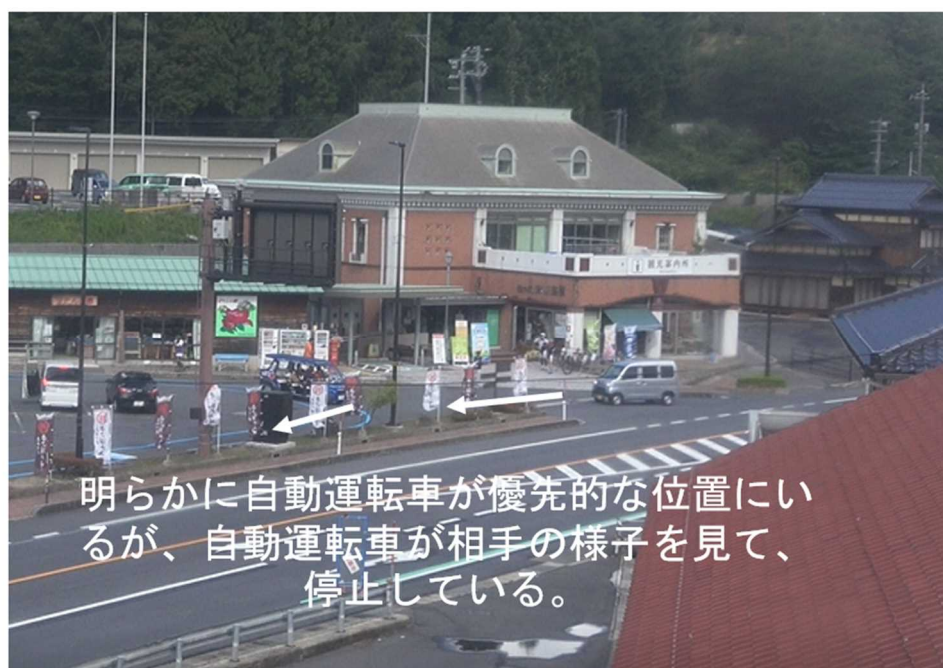


図 1-22 自動運転車が他車両に譲ろうとしてお見合いする場面



図 1-23 歩行者の後方から自動運転車が追い越す場面



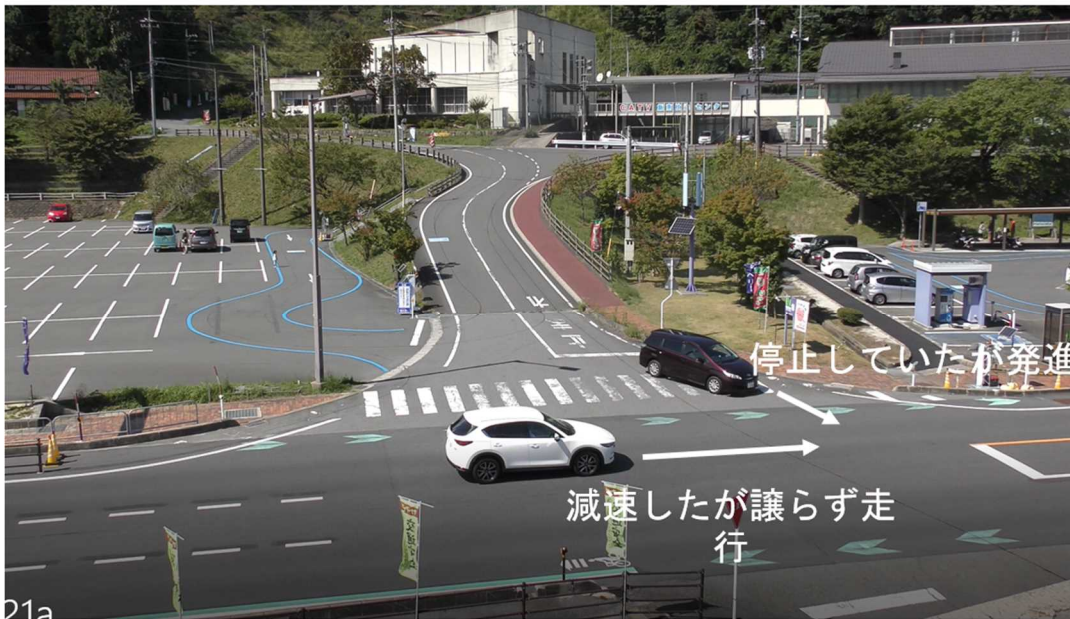


図 1-24 手動自動車同士のインタラクション失敗の例（お見合い）

#### 1.2.3.4. 低速走行の自動運転車との不安全や非効率なコミュニケーションを低減・抑制するための対応

過年度に実施した道の駅等の実証実験で観測された不安全、非効率なコミュニケーションとしては、次のような特徴が観測されている。

- 単路部や交差部において、進行中の自動運転車に対して、歩行者や自転車、あるいは自動車が自動運転車の前方を横断あるいは横切ろうとしているとき、自動運転車は減速・停止して進路を譲ろうとしているが、自動運転車の乗務員からのアイコンタクトやヘッドライト点滅（パッシングライト）等の手掛かりがないことによって、不安全や非効率なコミュニケーションに至っている
- 単路部や駐車エリアにおいて、進行中の自動運転車が歩行者の背後からあるいは前方から接近し、運行軌道から外れて自動走行できないことから、一旦停止して歩行者に運行軌道からの回避を依頼したいが、そのような意図や状態を伝達することができず、非効率なコミュニケーションに至っている
- 単路部において、低速走行している自動運転車の後方に自動車が接近し追いついてしまうとき、見慣れない自動運転車に対して追い越してよいのかが判断できない、追い越せる状況にあるかが判断できず、非効率なコ

コミュニケーション、時には不安全なコミュニケーションに至っているとなっている

本実証実験にて観測された低速走行の自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションの特徴も考慮すると、低速走行の自動運転車と周囲交通参加者との不安全、非効率なコミュニケーションを低減・抑制するための検討結果なども踏まえ、次のような対応案が考えられる。

- 低速走行・電気自動車であることによる静粛性や電磁誘導線上のみの自動運転などの走行軌道の制約（迂回できない）などから、自動運転車の接近や存在に気づきにくいことから音信号や音声など聴覚インタフェースによる歩行者への接近・注意喚起などを行うことで不安全、非効率なコミュニケーションを低減・抑制できることが考えられる。
- 従来の手動運転車のようなドライバーによるアイコンタクトやパッシングライト等による意図伝達の手掛かりを提供できるよう、自動運転車においても意図伝達の手掛かりを提供できる装備、eHMIを装備・運用することによって不安全、非効率なコミュニケーションを低減・抑制できることが考えられる。

これらを踏まえた上で、事象の網羅性に配慮しつつ[2]、本実証実験にて観測された低速走行の自動運転車と周囲交通参加者との不安全、非効率なコミュニケーションの特徴とその対応策を表 1-2 に示す。コミュニケーションについては交通場面、観測件数、不安全性、非効率性などの項目、要因については自動運転車両、車両の特徴・機能制約、交通参加者、人的要因、道路形状などの項目、対応策については机上による検討結果であるが、車両挙動制御、eHMI、インフラ、知識・教育などの項目について整理した。

表 1-2 低速走行の自動運転車と周囲交通参加者との不安全・非効率なコミュニケーションの特徴とその対応策

コミュニケーション				要因				対応策					
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
歩行者が自動運転車の前を横断する場面	5	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに進む場合、交通参加者と接触する不安全性がある	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	ゴルフカート型 / バス型	低速走行/既定の加減速/既定の軌道/アイコンタクトやジェスチャーがない	歩行者	自動運転車の意図がわからず停止する/自動運転車が止まると過信し横断する	単路 / 交差点 / 駐車場	停止位置を通者から離し、意図を明確にする	eHMIによって停止や譲りの意図を示す	—	自動運転車は周辺の安全に配慮して走行することや、周辺環境を検知する方法に関する知識を提供する	—
自動二輪車が自動運転車の前を横断する場面	2	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに進む場合、交通参加者と接触する不安全性がある	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	ゴルフカート型 / バス型	低速走行/既定の加減速/既定の軌道/アイコンタクトやジェスチャーがない	自動二輪車	自動運転車の意図がわからず停止する/自動運転車が止まると過信し横断する	単路/交差点/駐車場	停止位置を通者から離し、意図を明確にする	eHMIによって停止や譲りの意図を示す	—	自動運転車は周辺の安全に配慮して走行することや、周辺環境を検知する方法に関する知識を提供する	—

コミュニケーション				要因				対応策					
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
自動車が自動運転車の前を横断する場面	62	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに直進する場合、交通参加者と接触する不安全性がある	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	ゴルフカート型 / バス型	低速走行/既定の加速/減速/既定の軌道/アイコンタクトやジェスチャーがない	自動車	自動運転車の意図がわからず停止する/自動運転車が止まると過信し横断する	単路/交差点/駐車場	停止位置を交差点から離し、意図を明確にする	eHMIによって停止や譲りの意図を示す	—	自動運転車は周辺の安全に配慮して走行することや、周辺環境を検知する方法に関する知識を提供する	—
自動運転車が後から歩者に追いつく場面	3	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに直進する場合、交通参加者と接触する不安全性がある	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	ゴルフカート型	既定の軌道 / アイコンタクトやジェスチャーがない	歩行者	自動運転車の軌道がわからず迂回できると思いついて入ることから、交通参加者は軌道上で停止もしくは移動している	狭い単路/駐車場	参加者に近づかず、内側を歩行者に譲ることを認識してもらう	eHMIによって退避してほしい意図を示す	路面上に自動運転車の軌道を明示する	自動運転車は軌道上のみを走行することに関する知識を提供する	—

コミュニケーション				要因					対応策				
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
自動運転車が後方から自転車に追いつく場面	2	自動運転車が交通参加者の前で停止せずに直進する場合、交通参加者と接触する不安全性がある	交通参加者が後方の自動運転車に気づかずにいる時間が長ければ、自動運転車が追いつき越すことができないため、非効率性がある	ゴルフカート型	既定の軌道/アイコンタクトやジェスチャーがない	歩行者	自動運転車の軌道がわからない、もしくは迂回できないかと思いついてから、交通参加者は軌道上で移動している	単路	参加者少近づき軌道に内まいてを認識し、道留てをう	eHMIによって退避してほしい図示	路面上に自動運転車の軌道を明示する	自動運転車は軌道上のみを走行することに関する知識を提供する	—
自動運転車と自動車狭路ですれ違う場面	38	—	自動運転車と交通参加者が停止し、どちらも動き出さずにいる時間が長ければ、非効率性がある	主にゴルフカート型	アイコンタクトやジェスチャーがない	自動車	自動運転車の意図がわからず停止する/自動運転車が止まると過信し直進する	狭い単路	—	eHMIによって停止や譲りの図示	—	自動運転車は周辺の安全に配慮して走行することに関する知識を提供する	—

コミュニケーション				要因					対応策				
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
自動二輪車が自動運転車を追い越す場面	2	自動二輪車が自動運転車を追い越した後、対向車が接近していた場合は、衝突する不安全性がある	—	主にゴルフカート型	低速走行/既定の軌道（路肩沿いで走行）/小さい車体	自動二輪車	走行速度が遅く、面倒でイライラする/低速で左側に寄っていることから追い越しを促されるように勘違いする/自動運転車の停止や左折時の左ウインカーによって追い越しを促されるように勘違いする	単路/交差点	—	eHMIによってウインカーをいらずに止譲やりの意図を示す			—

コミュニケーション				要因					対応策				
場面	観測件数	不安全性	非効率性	自動運転車両	車両の特徴	交通参加者	人的要因	道路形状	車両挙動制御	eHMI	インフラ	知識・教育	その他
自動車が自動運転車を追越す場面	16	自動車が自動運転車を追越した後、対向車が接近していた場合は、衝突する不安全性がある	—	主にゴルフカート型	低速走行/既定の軌道（路肩沿いで走行）/小さい車体	自動車	走行速度が遅く、面倒でイライラする/低速で左側に寄っていることから追いつきを促されるように勘違いする/自動運転車の停止や左折時の左ウインカーによって追いつきを促されるように勘違いする	単路/交差点	—	eHMIによってウインカーを用いずに止や譲りの意図を示す		自動運転車の左ウインカーは、主に停止や左折の意図で用いられることに関する知識を提供する	—

---

---

### 1.3. 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析と コミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析

#### 1.3.1. 車両挙動や eHMI を利用した自動運転車とのコミュニケーションの負 の影響の低減・抑制に関する検討

##### 1.3.1.1. 目的および方法論の概要

本実験では、単一交通参加者や複数交通参加者が自動運転車の周囲に存在する道路環境・交通状況を対象に、eHMI を介して意図や状態を発信する自動運転車と周囲交通参加者との間でコミュニケーションが生じる際、eHMI に対する歩行者の過度な依存による確認行動を怠る傾向を改善する対策を提案する。eHMI のメッセージのテキスト消灯型による交通参加者の自動運転車に対する解釈や意思決定、安心等の心的影響等を明らかにする。またこれらの運用方法による効果を明らかにすることから、安全・安心なコミュニケーションと交通参加者が自動運転車に関して備えるべき知識について検討することを目的とする。

SIP 第 1 期では、eHMI による自動運転車からの譲り認識表明時における負の影響を分析するために、無信号横断歩道での自動運転車と歩行者とのコミュニケーションを対象に、年齢や運転免許などの属性等を含めて VR 環境を利用した実験を実施した。この実験から、歩行者は、eHMI を介した自動運転車とのコミュニケーションを繰り返すことで、自動運転車における過度な期待感を持ち、周囲環境の確認を疎かにする傾向が見られた。このような負の影響を改善するため、自動運転車両のセンサが検知できない交通場面があることを想定し、eHMI のテキストメッセージを消灯する方法を VR 環境で実装した。2020 年度 3 月から実施した実験では、テキストを消灯することで歩行者の注意喚起を促し、負の影響の改善効果を調べた。しかし、コロナ禍により、負の影響の存在と改善における十分な知見を得るには実験被験者(以下、被験者)数が不十分であったことから、有意な統計分析結果を得るための参加者数の増加が必要となった。このことから、本実験は、性別と年齢を考慮して参加者を実験に参加させ、eHMI を介したコミュニケーションによる負の影響の改善手法の効果を検証することとした。なお本研究は慶應義塾大学理工学部理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。

##### 1.3.1.2. 実験装置

本実験では、被験者が VR-HMD (VR 用ヘッドマウントディスプレイ) を装着し、ワイヤレスコントローラを操作することで実験を行った。横断する際の衝突リスク、視認行動等を評価するために被験者に実際に試験走路を横断

---

---



---

---

させることには車両と歩行者が接触するリスクが伴うため、本研究では VR-HMD を使用した。使用した VR 空間は、ベースステーションによって作成された。各装置の仕様を示す。

#### (1)VR-HMD

本実験で用いた VR 向け HMD を図 1-25 に示す。本実験では、HTC 製の HTC VIVE PRO を使用した。VR 空間内の表示や文字を鮮明に見ることができ、没入感の高さが特徴である。ディスプレイは対角 3.5 インチの有機 EL が 2 つ装備されるものであった。解像度は片目あたり 1440px×1600px（合計 2880px×1600px）で、リフレッシュレートは 90Hz、視野角は 110 度であった。



図 1-25 VR-HMD (Vive pro)

#### (2)ワイヤレスコントローラ

本研究で用いたコントローラを図 1-26 に示す。コントローラは VR 空間で使用することができ、トリガーとトラックパッドを備えていた。VR-HMD とコントローラがペアリングされた状態で使用した。



図 1-26 ワイヤレスコントローラ

---

### (3) ベースステーション

本研究で用いたベースステーションを図 1-27 に示す。ベースステーションは、VR-HMD とコントローラに信号を送信することでそれらの動きを 360 度追跡し、精密な動作や位置を取得することができた。VR-HMD に装備されているセンサにより、最大 5×5(m)の範囲において、VR-HMD を装着する人の顔の動きや位置のトラッキングが可能であった。



図 1-27 ベースステーション

#### 1.3.1.3. 実験環境

慶應義塾大学新川崎 K<sup>2</sup>タウンキャンパス K 棟 104 号室にて実験を実施した。実験環境におけるベースステーション配置状況を図 1-28 に示す。被験者は、図 1-29 の赤丸の位置に立って頂き、VR-HMD を被り、コントローラを用いて実験に参加した。

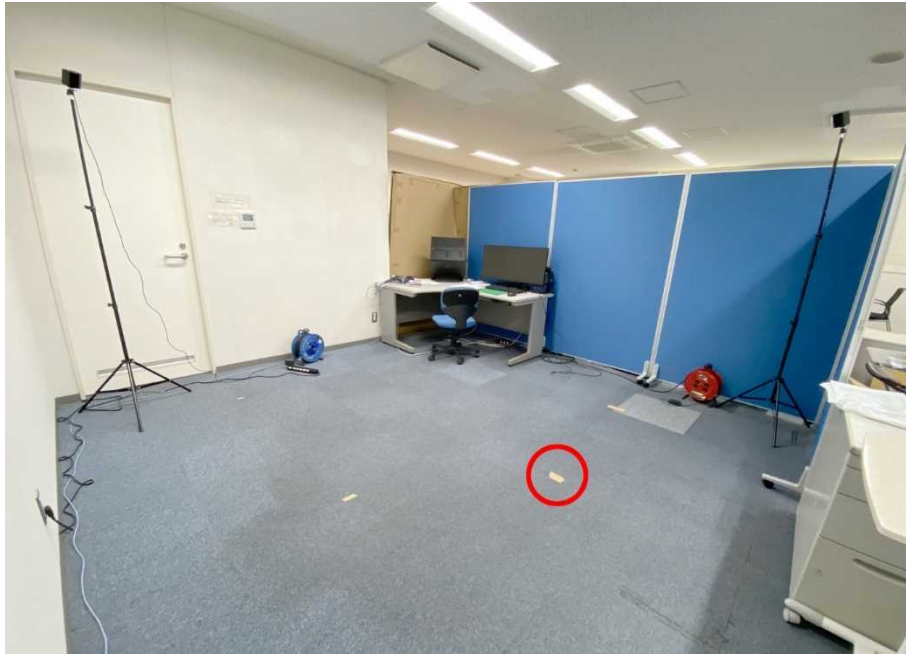


図 1-28 実験環境における機器配置

#### 1.3.1.4. 開発用ソフトウェア

##### (1)Unity

Unity は統合開発環境を内蔵し、HTC 製 VR-HMD に対応する Unity Technologies SF 社のゲームエンジンで、使用したバージョンは 2018.2.1f1 であった。プログラミング言語は、スクリプト言語として C#、UnityScript (Javascript)、Boo の 3 種類に対応しており、本研究では C#により Visual Studio2017 を使用して実験環境を開発した。また、Unity Asset Store 上の 3D モデルを使用することで、実験環境におけるオブジェクトの作成が可能であった。

##### (2)SteamVR

SteamVR は、VR-HMD を Unity に接続するための PC 向けの VR プラットフォーム(Valve 製)であった。SteamVR Plugin を Unity Asset Store より導入することで、SteamVR を Unity 上で認識・制御することが可能であった。

#### 1.3.1.5. 実験構成および VR 環境内での道路環境

本実験では、被験者の右側から接近してくる自動運転車が存在する交通場面を対象にして、被験者に横断判断、横断行動を行わせた。実験場面の概要的な構成を図 1-29 に示す。無信号横断歩道に接近する自動運転車が横断歩道で横断待ちしている歩行者に車両挙動や eHMI を利用して譲りを表明する際に、自動運転車の車両挙動や eHMI の状態に対する歩行者の認識や判断、行動を分析するために交通場面①(図 1-30 参照)を設定した。さらに交通場面①を経験したことによって、渋滞停止の大型トラックの存在で対向車線の状況が見づら

い横断状況の中で、自動運転車の車両挙動や eHMI が歩行者の認識や横断中の安全確認などを分析するための交通場面②を設定した（図 1-31 参照）。

- ① 自動運転車から横断歩道の歩行者への譲りの表明を横断歩道脇にて認識・横断判断（自動運転車と同じ道路側の歩道）
- ② 自動運転車から横断歩道の歩行者への譲りの表明を横断歩道脇にて認識・横断判断（自動運転車と同じ道路側の歩道）。ただし、歩行者の左方向には渋滞停車の大型トラックが存在

図 1-29 実験場面の構成

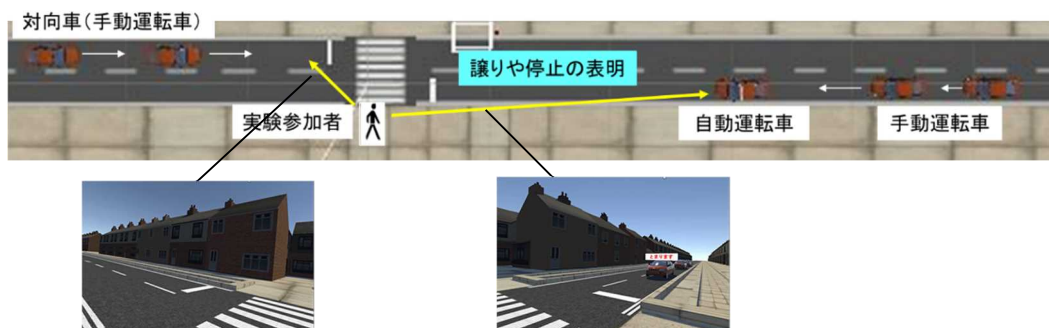


図 1-30 交通場面①に対する道路環境と映像例

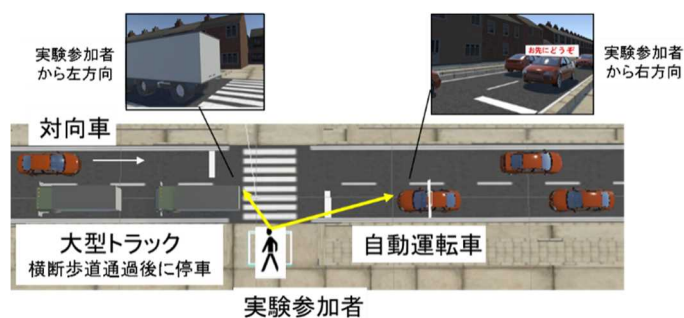


図 1-31 交通場面②に対する道路環境と映像例

道路環境については、いずれの交通場面についても共通的に、道路幅員（無信号横断歩道の長さ）は 5.7m、停止線の設置位置は横断歩道中心から停止線中心までの距離にして 4.3m、停止線の幅は 0.4m であった。交通場面①と交通場面②では無信号横断歩道の中心の位置であった。

---

---

### 1.3.1.6. 実験タスク

本実験では、接近してくる自動運転車からの進路譲りや対向車を含む周囲の他車両の状態を見て、横断できると判断した時に、手元のコントローラを操作して横断するタスクを被験者に課した。横断中における左右方向の確認行動についても調査するため、被験者には手元のコントローラを使用して、前後方向の移動を行いつつ、二つの交通場面で横断歩道を横断するように指示した。横断速度（歩行速度）は、事前に計測した被験者の歩行速度を設定した。被験者が横断開始や横断中の前進・後退を行えるよう、図 1-32 に示されるように、コントローラのトリガーとタッチパッドを利用して、横断開始、横断中の前進・後退を行えるように設定した。各交通場面の開始時に、被験者には前方足下付近を見た状態であるように指示し、準備ができたタイミングで顔を上げさせ、自動運転車が存在する上流側や下流側の道路方向を視認させた。手動運転車ならびに自動運転車は被験者前へと次々と接近し、実験条件に応じて通過あるいは停車し、被験者は首を左右に振って周囲の交通状況や自動運転車の状態を確認して、横断可能と判断したタイミングで横断を開始した。必要であれば、横断中に歩行の停止や後退が可能であった。被験者は、各試行において首振りによる確認とコントローラによる歩行開始、歩行停止、後退を行い、被験者の安全確保のため、実験室内では歩行しないように指示した。被験者が道路を横断すると、アンケート画面に遷移し、被験者は質問に口頭で回答した。アンケートの回答終了後、次の条件の試行を開始した。これらを基本的な実験タスクとして、全ての交通場面を実施した。



図 1-32 横断行動に関する被験者のコントローラ操作

### 1.3.1.7. 実験条件

本実験における実験条件を構成する実験因子として自動運転車の eHMI のメッセージおよび改善方法を設定した。詳細を下記に説明する。

---

---

### (1) eHMI テキスト

eHMI の意図伝達コンテンツの表現方法としては、テキストや灯火（色、パターン）、アイコン・シンボルなどが考えられるが、本実験では自動運転車の車両挙動や eHMI の意図伝達コンテンツの組合せに対する歩行者の認識や判断、行動等を分析対象としていることから、eHMI については、学習や経験の有無に関わりなく、歩行者がそのコンテンツを適切に正しく認識できるよう、事前学習が不要であるテキストを利用することとした。テキストによるコンテンツは、SIP 第 1 期の成果を考慮して、“お先にどうぞ”、“とまります”の 2 種類を設定した。自動運転車に実装した eHMI の意図伝達のコンテンツを図 1-33 に示す。



(a)お先にどうぞ



(b)とまります

図 1-33 自動運転車の eHMI のコンテンツ

eHMI の各コンテンツは、横断歩道中央から自動運転車が接近してくる上流約 30m 地点でもテキストを認識できるように VR 環境内で設計した。“お先にどうぞ”は自動運転車から歩行者への進路譲りの意図を伝えるためのテキストメッセージ、“とまります”は自動運転車の停止意図を伝えるためのテキストメッセージとして活用した。本実験では、歩行者が自動運転車の状況や周囲交通を確認して横断可能かどうかを判断して横断することになるが、すべての実験条件において自動運転車が停止してしまうと自動運転車や他車両は必ず停車するものと認識してしまい、実験結果に影響を及ぼす可能性がある。そこで本実験では、自動運転車が進路を譲らず、また減速せずに進行する実験条件（一定速の車両挙動）を設定した。また eHMI の有無による歩行者の認識や判断、行動への影響も検討するために、eHMI を実装しない自動運転車も設定した。eHMI を実装しない自動運転車を図 1-34 に示す。eHMI を実装しない自動運転車は、eHMI に関する要素以外の外観に関わる要因が歩行者の認識や判断、行動に影響を及ぼさないよう、双方で同一の車種、同一のボディ色に設定して外観を同一にした。

---

---



図 1-34 eHMI を実装しない自動運転車

(2) 周囲交通の状況

被験者には多様な交通状況であることを印象付けるために、各交通場面において、対向車線に配置した手動運転車の無信号横断歩道への接近・停止・通過の車両挙動がある程度多様なものとなるように設定した。基本的には、自動運転車の横断歩道への接近・停車あるいは接近・通過に対して、自動運転車の横断歩道手前での停止や通過のタイミングに基づいて、対向直進車の横断歩道手前の車両挙動を交通場面ごとに設定した。交通場面①については表 1-3、交通場面②については表 1-4 に示されるように、それぞれ設定した。

表 1-3 交通場面①における対向直進車の車両挙動

車両挙動	開始タイミング
停止線にて停止	停止線での自動運転車停止タイミングよりも先
	停止線での自動運転車停止タイミングよりも後
停止線で停止せず、横断歩道を通過	自動運転車の停止通過タイミングよりも先

表 1-4 交通場面②における対向直進車の車両挙動

車両挙動	開始タイミング
停止線で停止せず、横断歩道を通過	自動運転車の停止通過タイミングよりも後 (被験者が横断歩道中央付近に到達時)

### (3) 改善方法

交通場面①で eHMI を用いた自動運転者と持続的にコミュニケーションを行うことによって、eHMI に対する歩行者の過度の依存による確認行動を怠る可能性がある。eHMI を用いた自動運転車から周囲交通参加者へのコミュニケーションにおける負の影響の発生を改善するために、本実験では eHMI のテキストの消灯を利用することとした。図 1-35 の「テキスト消灯時」は、交差点場面②を対象とし、eHMI のテキストを消灯する改善方法を実装した際の自動運転車を示す。交通場面②では、歩行者が歩行を開始してから対向車線の手動運転車が動き始めるように設定している。そこで、右側から接近してくる自動運転車が停止した時点でも、歩行者が横断を開始しない限り自動運転車のセンサは対向車線の手動運転車を検知できない。このことから、自動運転車の前方に停止されている大型トラックを検知し、自動運転車の速度が 2km/h 以下になった時点で eHMI のテキストが消灯されるように設定した。交通場面②において、eHMI のテキストが消灯されることを確認できなかった参加者が生じないように、周囲の交通状況に注意を向けながら横断するように指示した。

なお、自動運転車に後続する手動運転車の車両挙動は自動運転車に追従するものとし、自動運転車が横断歩道手前の停止線で減速・停止する場合は、その車両挙動に合わせて減速・停止し、自動運転車が横断歩道を通過する場合は、その車両挙動に合わせて通過する設定とした。



図 1-35 負の影響の改善方法実装時の eHMI の状態

### (4) 各実験場面における実験条件

上記で説明した eHMI のメッセージ、改善方法の組合せに基づいて、また実験場面に対する実験条件を表 1-5 に示す。全ての被験者には実験条件 1 から 10 まではランダムに経験し、最後に実験条件 11 を経験した。



表 1-5 交通場面を対象にした実験条件の詳細

条件番号	自動運転車 車両挙動	eHMI メッセージ	改善方法	対向直進車 車両挙動	備考
1	停止 25→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー
2	早期減速 25→5→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー
3	通過 25→25km/h	(表示せず)	—	通過	ダミー
4	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー
5	早期減速 15→5→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	通過	ダミー
6	通過 15→15km/h	(表示せず)	—	通過	ダミー
7	通過 25→25km/h	(表示せず)	—	停止	ダミー
8	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	ダミー
9	通過 25→25km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	ダミー
10	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	—	停止	ダミー
11	停止 15→0km/h	お先にどうぞ ／とまります	テキスト消灯型	通過	分析対象

---

---

### 1.3.1.8. 計測項目

本実験では、負の影響の改善方法を評価するために、実験場面②に含まれる下記の項目について計測した。

#### (1)自動運転車や他車両への視認行動・停止・接触の有無

被験者が横断を開始した後、周囲交通環境への確認や、それに伴う停止行動、また、自動運転車や対向直進車への接触あるいはニアミスの有無について記録した。

#### (2)横断判断・横断開始に関わる心的状態

横断終了直後（あるいは実験条件終了直後）に、(a)自動運転車からの譲り意図の認識の程度、(b)自動運転車通過前横断時の安心感、(c)自動運転車停車に対する横断速度への気遣い、(d)自動運転車に対する信頼感について、1点から5点までの主観評点でレイティングさせて記録した。またそれぞれについて自由記述での回答も合わせて実施した。また交通場面②の実験条件については、対向直進車に対する被験者の認識等についてもインタビューを介して記録した。

### 1.3.1.9. 被験者

被験者は、年齢属性に基づいて、非高齢者（運転免許所有者）が本実験に参加した。被験者の年齢や性別は表 1-6 に示される通りである。各テキストメッセージにおいて、男女 40 名が参加した。

表 1-6 「テキスト消灯型」条件の被験者の年齢構成等の詳細

テキストメッセージ	性別	年齢	人数
お先にどうぞ	男性	20-58 歳、平均 36.3 歳	10
	女性	24-59 歳、平均 40 歳	10
とまります	男性	21-56 歳、平均 35.9 歳	10
	女性	20-54 歳、平均 41.2 歳	10

---

---

### 1.3.1.10. 実験装置

実験開始前に被験者に対して実験内容の説明を行い、実験参加への同意を得た。また、普段の歩行の特性や VR 経験に関するアンケートに回答するよう指示した。その後、被験者の両眼視力と歩行速度を計測した。次に被験者をベースステーションから検知しやすい指定の位置に立たせた後、VR-HMD を装着させ、コントローラを持たせた。実験中の安全確保のため、実験中は実際には歩行しないよう指示した。ただし、VR 環境においても実環境と同様な周囲確認や横断判断等を再現するように依頼した。

VR-HMD 装着後、交通場面①、交通場面②の順序で実施した。また本実験の実施前に練習を数回実施し、VR 環境での判断、コントローラの操作やアンケートの回答方法に関して、被験者の習熟を確認した後に計測を伴う実験条件を実施した。交通場面によって、被験者の観察位置が異なる場合があることから、交通場面①の実施前、交通場面③の実施前に別途練習を実施した。またすべての実験場面に設定された実験条件を実施する上で、被験者がゲーム感覚的な判断や日常的に実施している横断判断と乖離した意思決定を行わないよう、すべての実験条件の開始前にゲーム感覚的な判断や行動をせず、日常的に実施している横断判断や行動を行うよう依頼するテキスト表示を VR 環境内で行った。

交通場面①では、被験者に対して、被験者の観察位置が横断歩道付近に移動したことを告げるとともに、再び、被験者から見て右側から接近する車両が自動運転車であること、自動運転車の車両挙動や自動運転車の eHMI の状態を見て (eHMI 非搭載の自動運転車は車両挙動のみ)、少しでも譲られたと感じて横断可能であると判断した際に手元のコントローラのトリガーを引いて横断するように教示した。1 回の実験条件が終了するごとに、VR 環境内に表示される質問項目に対して 1 点から 5 点で回答するよう指示した。実験場面①で設定した 10 種類の実験条件の体験順序は被験者ごとにランダムに設定・実施した。実験場面①の 10 種類の実験条件が終了してもインタビューを介した自由記述による回答は実施せず、すぐ交通場面②を実施した。

交通場面②は、交通場面①に引き続いて中断することなく、また特別な説明も追加することなく、交通場面①の一連の実験条件のような形態で実施した。交通場面②の終了後に、インタビューを介した自由記述による回答を実施した。また必要に応じて、途中で停止したり、歩道に戻ったりしてもよいことも合わせて教示した。1 回の実験条件が終了するごとに VR 環境内に表示される質問項目に対して 1 点から 5 点で回答するよう指示した。

実験途中にシミュレータ酔いを感じたときにはすぐに申し出るように伝え、実験実施者は酔いを感じていないか被験者に適宜確認した。実験場面①と②で

---

---

---

---

設定した 11 つの実験条件の体験順序は被験者ごとにランダムに設定・実施した。その後、実験場面①と実験場面②が終了した後に被験者に対してインタビューを行い、実験中に自動運転車の車両挙動や eHMI などを含めたコミュニケーションに対して被験者が感じた心理状態等を自由回答にて記録した。

#### 1.3.1.11. 実験結果

本実験では、交通場面②の実験実施時に、実験装置や計測機器の不具合によって実験データにおけるノイズの発生や、実験データの欠損が生じた。また被験者の操作ミスが伴う実験データも一部発生した。これらの実験データは分析対象から除外することとした。また実験結果は、交通場面ごとに取りまとめ、その特徴等を記述することとした。

##### (1) 交通場面②（横断歩道を横断しようとする歩行者への負の影響検討）

交通場面②では、交通場面①の実験シナリオを体験後、無信号横断歩道脇で横断待ちの歩行者に、歩行者の右方向から譲りの意図を表明しながら自動運転車が無信号横断歩道に接近・停車した後、大型トラックの渋滞停車により対向車線への状況確認がしづらい交通場面での歩行者の認識や判断、行動の特徴を計測・分析するシナリオであった。このような交通場面での被験者の判断や行動の特徴を分析する。図 1-36 は、被験者の確認行動を左右確認、一旦停止、ニアミスや接触の有無の割合を示す。ここでは、負の影響の改善方法の効果を調べるため、過去の実験の結果も含めている。

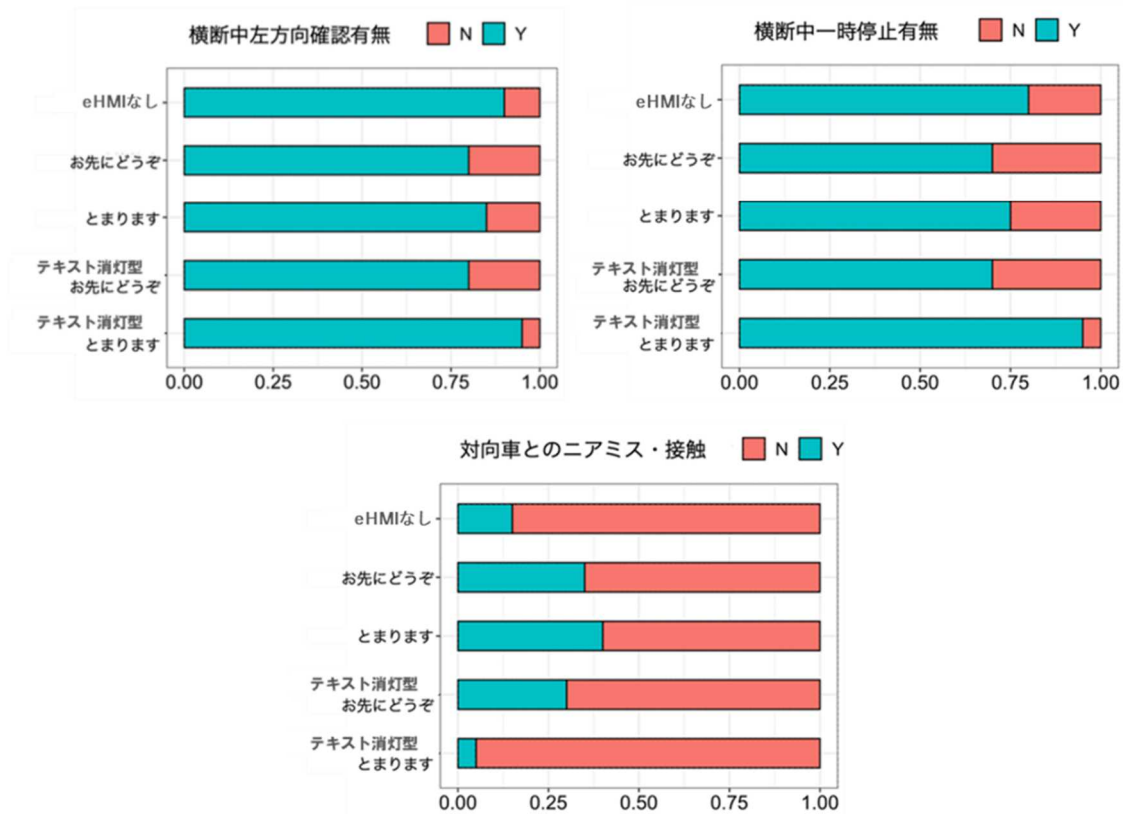


図 1-36 被験者の横断時の左右確認・一旦停止・接触有無

自動運転車の停止前、停止線での停止後に関わりなく、横断を開始した被験者が周囲状況を確認しているかどうかを実験条件ごとにまとめた。

交通場面②では、被験者が横断歩道を横断する際、横断歩道脇で被験者の左手に渋滞停止の大型トラックが存在していて対向車線方向を確認しづらい状況であったため、対向車線方向に対向直進車が存在するかどうかを確認するために左方向への確認が必要な状況であった。改善方法の効果を調べるために、全ての被験者は eHMI のテキストが消灯されたことを確認してから横断を実施した。本実験結果は、テキストが消灯されたことを確認してないまま横断した参加者のデータは除いている。

図 1-37 に基づくと、eHMI が“お先にどうぞ”のメッセージを発信する条件で、左右を確認する視認行動を行ってない被験者が、他の実験条件より多く見られた。改善方法が適用された「テキスト消灯型・お先にどうぞ」条件でも同じ傾向が見られている。しかし、“とまります”のメッセージを発信していた eHMI がテキストメッセージを消灯した際に、改善方法を適用してない「とまります」条件と比べて、左右を確認する参加者の数が増えた。特に、「テキスト消灯型・とまります」条件で、「eHMI なし」条件より視認行動を行った参加者の割合が高かった。

---

---

横断中に一旦停止を行なったケースの結果は、視認行動の結果と似たような傾向が見られた。しかし、図 1-37 が示す通り、視認行動を行った参加者より一旦停止した参加者が少なかったことがわかった。「テキスト消灯型・とまります」条件以外の全ての条件において、このような傾向が観測された。“とまります”を表示する eHMI において、改善方法を実装した場合、20 名の中 1 名のみ横断中に一旦停止してないことが確認できた。

最後に、対向車線を走行する手動運転車とのニアミス・接触有無を確認した結果、“お先にどうぞ”のメッセージを発信する eHMI を経験した被験者のみが手動運転車と接触したことがわかった。詳細には、eHMI テキスト消灯型・お先にどうぞの条件で 1 件の接触が確認された。

### 1.3.1.12. 考察

本実験では、無信号横断歩道に接近中の自動運転車が eHMI をテキスト消灯型にすることで、自動運転車からのコミュニケーションを経験することによる負の影響に対する改善効果について分析した。本実験では、譲りの意図を意味する“お先にどうぞ”と、停止の意図を意味する“とまります”の 2 つのテキストメッセージを eHMI に実装した。被験者は、実験場面①と②を通じて eHMI を介した自動運転車とのコミュニケーションを経験した。

本実験では、実験場面②を対象として分析し、eHMI のテキスト消灯の実装による負の影響の改善効果を確認した。過去の実験は、eHMI を介した自動運転車両との持続的インタラクションは、負の影響を引き起こすと観測した。テキスト消灯による効果は、“とまります”のメッセージを発信する eHMI を介した自動運転車とのコミュニケーションを行った場合のみ見られたと言える。

「テキスト消灯型・とまります」条件を経験した参加者は、他の条件を経験した参加者より、より周囲環境に注意を配ることが確認された。改善方法が実装された後の流れを考えると、周囲環境を確認するための視認行動と、危険に対応するための一旦停止を行う参加者が多く見られた。さらに、他の条件と比べて、対向車線の対向車とニアミス・接触した参加者の数が明らかに少なかった。過去の実験で、“とまります”を表示する eHMI が負の影響を引き起こした可能性を示唆したことから、テキスト消灯により注意喚起の効果が見られたと言える。しかし、なぜ eHMI のメッセージが消灯したのかがわからない状態だと、自動運転車両に対する適切な心理的態度を形成できない可能性がある。また、参加者から、eHMI は何かに対する事前情報が欲しいという意見があったことから、負の影響を抑制できる方法として、歩行者に対する事前知識の説明が考えられる。

---

---

---

---

### 1.3.1.13. 本節のまとめ

本節では、無信号横断道路において、歩行者が eHMI を装着した低速移動自動運転車とコミュニケーションを続けることで発生しうる負の影響を改善する方法に着目した。テキスト型 eHMI（例えば、“お先にどうぞ”、“とまります”）を介したコミュニケーションによる、自動運転車両に対する歩行者の過度な依存や信頼によって周囲環境への確認を疎かにするなど、歩行者の情報処理過程に影響することから、負の影響を改善する方法として eHMI のテキストメッセージを消灯する方法を実装した。VR 実験のデータを分析した結果、テキストを消灯することで歩行者の注意を喚起し、周りの交通環境における確認や行動を誘導できる効果が見られた。しかし、このような効果は、自動運転車両が“とまります”を発信する場合に限っていて、“お先にどうぞ”を発信する場合には負の影響の改善効果が大きく確認されてなかった。このことから、歩行者における事前知識・事前教育との組み合わせることなど、他の支援方法と組み合わせることで負の影響を改善することが期待される。

---

---

## 1.4. 自動運転化レベル 4 を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および eHMI の実装

### 1.4.1. 実施目的

2019 年度から 2021 年度にかけて、低速走行する移動・物流サービスの自動運転車（以後、自動運転サービスカーと称す）と eHMI との組合せに対する周囲交通参加者の認識や判断、安心感等の心理面への影響を VR 実験や DS 実験、構内道路実験により分析し、自動運転サービスカーと周囲交通参加者のコミュニケーション方法について検討した。歩行者とのコミュニケーション場面および後続ドライバーとのコミュニケーション場면을対象に、本研究にて抽出された自動運転サービスカーと周囲交通参加者とのコミュニケーション方法を実道環境にて実証することを目的として、比較的遠くからでも自動運転サービスカーの意図や状態のテキスト表示を視認できるよう、SIP 第 1 期にて製作・実装した LED テキスト表示板を eHMI として自動運転サービスカーの実験車両に装備する。また、eHMI を自動運転サービスカーに搭載するにあたり、一般道を走行するための灯火器に関わる保安基準等に配慮するとともに基準緩和申請を行うこととする。

### 1.4.2. eHMI の仕様

eHMI として図 1-37 に示される LED 表示器（コイト電工製セレクトカラー表示器、Type H 20308-11000 に準拠）を使用した。

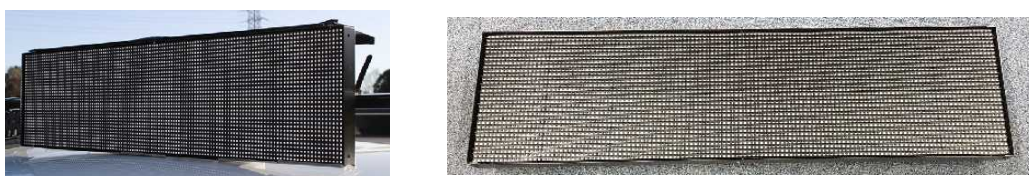


図 1-37 eHMI の外観

eHMI の仕様の詳細は表 1-7 に示されるように、表示サイズは 768mm×192mm、テキストやピクトグラムを構成する LED のドット間隔 6mm、面輝度は約 1600cd/m<sup>2</sup>（白色全点灯時）であり、日中でも十分に視認、可読可能な大きさ、輝度を有していた。またこの機材は AC100V で稼働し、重量は 4.0kg であった。



表 1-7 eHMI の仕様

入力電圧	AC100V で運用
LED ドット間隔	6 mm
表示サイズ	768 mm (W) ×192 mm (H)
表示色	512 色 (最大同時発色数 : 8 色)
面輝度	約 1600cd/m <sup>2</sup> (白色全点灯時)

#### 1.4.3. eHMI の取付具

実験車両に eHMI を実装する際の取付具を図 1-38 に示す。eHMI を前方用に設置するための取付具を 2 種類、eHMI を後方用に設置するための取付具 1 種類を製作した。いずれもスチール製であり、十分な強度を有しており、前方用および後方用の取付具は車両に既存のボルトと共締めにより固定され、また前方/後方用の取付具はルーフ部の左右端に挟み込むことにより固定される。



図 1-38 eHMI 取付具の外観

#### 1.4.4. 前方用 eHMI の実装

フロントスクリーン内・ダッシュボード上に設置する eHMI の取付状態を図 1-39 および図 1-40 にそれぞれ示す。eHMI は取付具によってダッシュボード上に両面テープと既存ボルトとの共締めで固定され、eHMI の設置高さは、前方視界基準や左方視界基準に準拠して調整された。



図 1-39 前方用 eHMI の外観



図 1-40 前方用 eHMI のダッシュボード上への取付状態

---

---

#### 1.4.5. 後方用 eHMI の実装

リア荷室に設置する eHMI の取付状態を図 1-41 および図 1-42 にそれぞれ示す。eHMI は取付具によってリア荷室に既存ボルトとの共締めで固定され、eHMI の設置高さは、運転席から直接後方を視認する際ならびに運転席からルームミラーを介して後方を視認する際のいずれの場合でも後方への視認に支障のない高さに調整された。



図 1-41 後方用 eHMI の外観



図 1-42 後方用 eHMI のリア荷室への取付状態

---

---

#### 1.4.6. 前方/後方用 eHMI の実装

前方用 eHMI もしくは後方用 eHMI としてルーフ部に設置する際の取付状態を図 1-43 および図 1-44 にそれぞれ示す。eHMI は取付具によってルーフ部左右端に金属プレートにて挟み込んで固定された。



図 1-43 前方/後方用 eHMI の外観（写真は前方用）

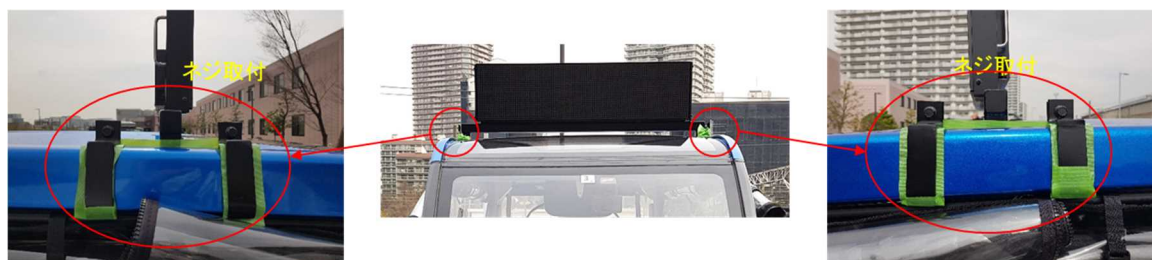


図 1-44 前方/後方用 eHMI のルーフ部への取付状態

---

---

#### 1.4.7. eHMI 取付に伴う基準緩和申請

中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービスの実証実験における運行ルートを対象に eHMI を実装して走行するにあたり、eHMI に関わる基準緩和申請、具体的には、実証実験地域にて設定された運行ルートを走行するために「その他の灯火等の制限」に関する基準緩和申請を行う。また eHMI を自動運転サービスカーに取り付ける際、乗員保護等に関わる規程に準拠する必要がある。指定部品か指定外部品かに関わりなく、取付時にドライバー、レンチ等の工具を使用するため、固定的取付方法に該当するが、フロントスクリーン内・ダッシュボード上に前方用 eHMI を、リア荷室内に後方用 eHMI をそれぞれ設置する場合、車両の長さ、幅、高さに変更は生じることはなく、車両重量も eHMI および取付具の重量を加算しても許容範囲内に収まることから、構造等変更検査には該当しない。前方用 eHMI のフロントスクリーン内、ダッシュボード上への設置に関しては、乗員保護を目的として LED 表示板の裏面（乗員側）および突起部・角部にはパッド類を装着する。

#### 1.4.8. 本節のまとめ

本節では、2019 年度から 2021 年度に得られた eHMI を中心としたコミュニケーション手段を自動運転サービスカーの実験車両に装備するための取付具の製作ならびに取付時の留意事項、基準緩和申請などを考慮した eHMI の設置を行った。製作した取付具を使用して、フロントスクリーン内、ダッシュボード上にフロント用 eHMI とリア荷室内にリア用 eHMI をそれぞれ設置して基準緩和申請を行い、認可された後に、中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービスの実証実験に、実験車両を導入して、eHMI に関する実証を行うための準備作業を実施した。

---

---

## 1.5. 単路部や交差部を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案

### 1.5.1. 試験走路環境を利用した横断ケース時の歩行者の非効率な行動や不安感を低減する自動運転サービスカーのコミュニケーション方法に関する研究

#### 1.5.1.1. 本研究の目的

過去の先行研究では自動運転車と歩行者の間のコミュニケーション手段として eHMI の有効性が示されている。しかし、中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービスで想定される自動運転車と歩行者のコミュニケーションについて十分に検討されているとは言えない。自動運転サービスカーとして使用される可能性のあるゴルフカートは、一般的な車両と見た目が異なるため、経験的に車両挙動を予想することが困難である可能性が高い。また自動運転サービスカーは 12km/h 程度の低速であり、歩道と車道の区別のない道幅 5m 程度の狭路を走行することから、歩行者の横断判断が異なる可能性がある。さらに、自動運転サービスが行われる中山間地域では、高齢者との関わりが不可欠であるため、分かりやすいものである必要があると考える。

そこで、本研究では自動運転レベル 4 の自動運転車を想定し、道幅 5m 程度の狭路において低速の自動運転サービスカーと歩行者が遭遇する場面を取り上げる。狭路での非効率および不安な歩行者の横断を低減する自動運転サービスカーの eHMI を検討することを目的とした。具体的には、eHMI に対して、車両挙動、ドライバーの有無が歩行者の横断行動および判断に与える影響を検討した。また、本研究では実車による実験を行い、VR 環境よりもより現実に近い有効な結果を得ることを目指した。なお本研究は慶應義塾大学理工学部理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。

#### 1.5.1.2. 実験装置

本研究では右側から接近してくる車両の前を横断する際、ボタンを押すことによって横断判断を行った。実環境で被験者に横断させることは、車両と被験者が接触するリスクが伴う。本研究では被験者に歩行による横断ではなく、ボタンを押すことによる横断を行った。実環境実験に使用した各装置の仕様を次節に説明する。

---

### 1.5.1.3. 自動運転サービスカー

本研究で使用した自動運転サービスカーを図 1-45 に示す。本研究では、ヤマハ発動機株式会社製の乗用車タイプの自動運転車両を使用した。定員は 6 人で、速度は自動走行時で 12km/h 程度、手動走行時 20km/h 未満である。埋設された電磁誘導線からの磁力を感知して、規定ルートを走行する。被験者との遭遇時は、全ての実験において自動走行であった。



図 1-45 自動運転サービスカー

### 1.5.1.4. eHMI 用 LED パネル

本研究で使用した eHMI を図 1-46 に示す。本研究では、コイト電気株式会社製 LED パネル（セレクトカラー表示器）を文字表示型 eHMI として使用した。表示範囲は縦 192mm×横 768mm（32 ドット×128 ドット）である。本研究において、“ドライバーなし”条件を実現するため、eHMI の電源に無線型リレースイッチを取り付けることで遠隔でのスイッチの ON/OFF を可能にした。

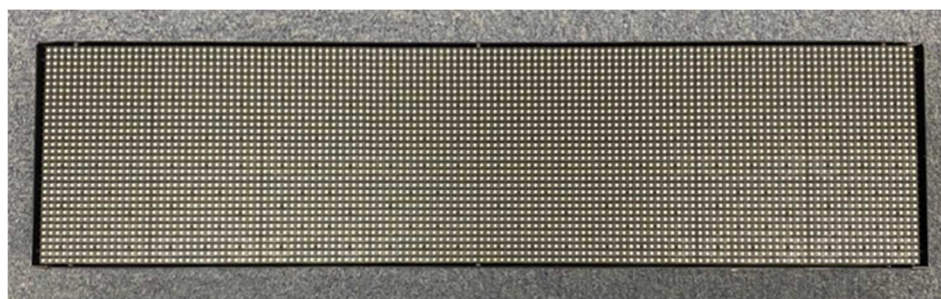


図 1-46 文字表示型 eHMI (LED パネル)

---

---

#### 1.5.1.5. RFID

本研究で使用した RFID(Radio Frequency Identification)を図 1-47 に示す。車両挙動（通常停止、早期停止、早期減速）を実現するように所定の位置に配置した。RFID の配置によって被験者が車両挙動を学習するのを防ぐため、図 1-48 に示すようにポケットの中に RFID を配置した。



図 1-47 RFID



図 1-48 RFID 配置の様子

#### 1.5.1.6. 減速挙動

自動運転サービスカーが歩行者に接近して停止する際の減速挙動として3種類の減速挙動を設定した。それらの減速挙動の特徴を図 1-49 に示す。いずれの減速挙動の場合も 12km/h の自動運転にて走行し歩行者に接近するが、減速開始位置と停止位置が異なり、これに伴って減速度も異なる設定であった。通常減速は歩行者の位置から 10m 手前の地点で減速を開始し、歩行者の位置から 5m 手前で停止する設定とし、これを基本とした。早期減速は歩行者の位置から 15m 手前の地点で減速を開始し、歩行者の位置から 5m 手前で停止する設定とした。この早期減速では通常減速と比較すると減速度が小さい減速挙動であった。早期停止は歩行者の位置から 15m 手前の地点で減速を開始し、歩行者の

---

---



位置から 10m 手前で停止する設定とした。この早期停止では、通常減速や早期減速と比較して停止位置が歩行者からさらに離れた地点であるといった特徴であった。

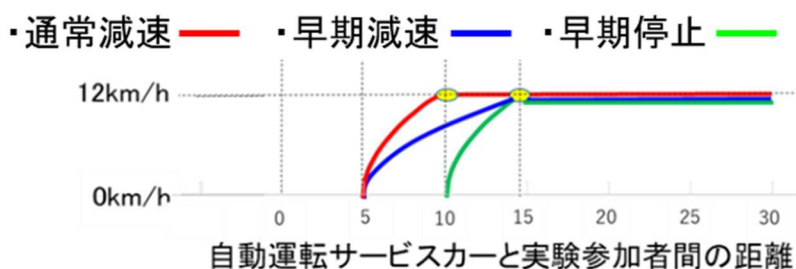


図 1-49 歩行者へ接近する際の減速挙動

### 1.5.1.7. 実験被験者

実験被験者（以下、被験者）は表 1-8 に示される通り、運転免許を所有し日常的な運転経験を有する健常な一般男性 16 名（平均：38.9 歳、標準偏差：11.9 歳、21 歳～57 歳）および一般女性 16 名（平均：39.4 歳、標準偏差：12.9 歳、21 歳～59 歳）の計 32 名であった（平均：39.2 歳、標準偏差：12.4 歳、21 歳～59 歳）であった。

表 1-8 被験者の年齢構成等の詳細

テキストメッセージ	性別	年齢	人数
eHMI なし (支援なし)	男性	25-51 歳、平均 39.5 歳、標準偏差 10.2	4
	女性	21-56 歳、平均 39.8 歳、標準偏差 13.1	4
自動運転中	男性	21-57 歳、平均 39.5 歳、標準偏差 12.9	4
	女性	21-53 歳、平均 37.8 歳、標準偏差 12.5	4
とまります	男性	22-57 歳、平均 39.3 歳、標準偏差 13.9	4
	女性	22-50 歳、平均 39.5 歳、標準偏差 11.3	4
お先にどうぞ	男性	22-50 歳、平均 37.3 歳、標準偏差 11.9	4
	女性	22-59 歳、平均 38.5 歳、標準偏差 13.5	4

### 1.5.1.8. 実験構成

本研究の実験構成を表 1-9 に示す。本研究では eHMI の有無を含めた 4 種類の eHMI に関する実験条件に対して被験者間計画に基づいて実施した。練習・統制群・実験群・統制群の順に実験を行った。はじめにボタンの操作方法・横断方法を確認するために、自動運転サービスカーで練習走行を実施した。ドライバーは乗車し、通常停止で実施した。被験者がゲーム感覚で横断することを

防止するために、右側から接近してくる車両が停止せずに被験者の前を通過する挙動をダミー条件として配置した。統制群は各条件と比較するために“乗務員あり（ドライバーあり）”、“乗務員なし（ドライバーなし）”のそれぞれで通常停止、eHMI なしで実施した。実験群ではドライバー状態（“ドライバーあり”、“ドライバーなし”）についてブロックに分けて実施し、その順序はランダムとした。各ブロックで車両挙動（通常停止、早期停止、早期減速）をランダムに配置した。

表 1-9 実験構成

	eHMI	車両挙動	ドライバー	
練習	なし	通常停止	有	
統制群データ	なし	通過	有	ダミー条件
	なし	通常停止	***	
	なし	通常停止	***	
休憩				
実験群データ	なし	通過	有	ダミー条件
	*	**	有	
	*	**	有	
	*	**	有	
	なし	通過	無	ダミー条件
	*	**	無	
	*	**	無	
	*	**	無	
休憩				
統制群データ	なし	通過	有	ダミー条件
	なし	通常停止	***	
	なし	通常停止	***	

ドライバー有無（有、無）の順序はランダムに配置

車両挙動（通常停止、早期停止、早期減速）の順序はランダムに配置

### 1.5.1.9. 歩行者データ

歩行者に関して表 1-10 のデータを収集した。自動運転車の接近に対する歩行者の横断判断、横断開始のタイミング、判断時の心理状態や心理面への影響などを設定した。

表 1-10 実験構成

分類	評価対象	評価指標	データ収集方法
歩行者の属性	個人属性	年齢	・年代を回答してください
		性別	・性別を回答してください
歩行者の行動	横断時の非効率性	横断開始時刻	・車両停止時刻と歩行者横断開始時刻の差
歩行者の判断	横断時の心理状態	譲りの認識度	・右側から接近してきた車両は、道を譲ってくれていると感じた ・7段階評価（1：まったくあてはまらない～7：非常に良くあてはまる）
		不安の程度	・右側から接近してきた車両に対して、横断できると判断した際に不安を感じた ・7段階評価（1：まったくあてはまらない～7：非常に良くあてはまる）
		気遣いの程度	・右側から接近してきた車両に対して、気を遣って早く渡ろうとした ・7段階評価（1：まったくあてはまらない～7：非常に良くあてはまる）

### 1.5.1.10. 実験結果

#### (1) 横断開始タイミング

自動運転サービスカーの接近に対する横断開始タイミングの結果を乗務員の有無に基づいてまとめた。その結果を図 1-50 および図 1-51 にそれぞれ示す。横断開始判断タイミングが正值の場合は、自動運転サービスカーの停止後に横断開始を判断したことを表し、横断開始判断タイミングが負値の場合は、自動運転サービスカーの停止前に横断開始を判断したことを表す。

乗務員が乗車している場合を対象にすると、eHMI なしの条件では、減速挙動の種類に関わりなく、自動運転サービスカーが停止して数秒後に横断開始を判断する傾向が見られたが、eHMI が装備された条件では、自動運転サービスカーがほぼ停止するタイミングあるいはそれよりも早いタイミングで横断開始を判断する傾向が見られ、特に早期減速の場合にその判断が早まる傾向が見られた。

一方、乗務員が乗車していない場合においては、乗務員が乗車している場合とほぼ同様な傾向が見られたが、早期減速において乗務員の有無による差異がやや見られ、乗務員が乗車していない場合に横断開始の判断が遅くなる被験者が増加する傾向が見られた。

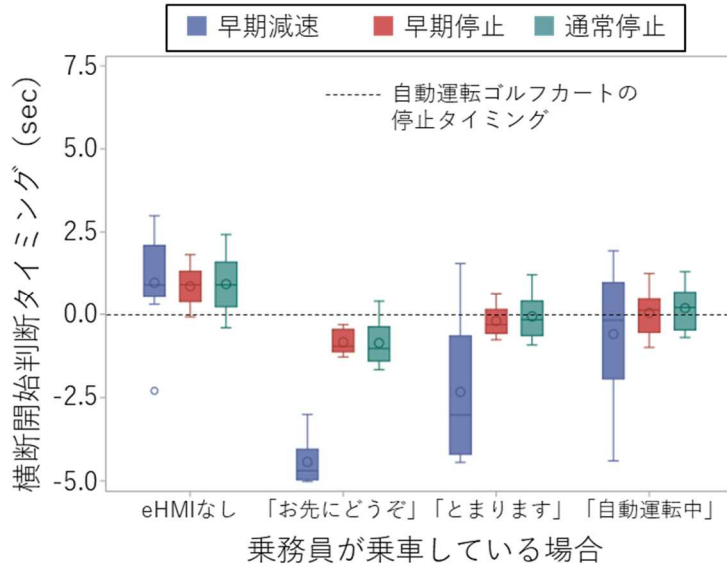


図 1-50 横断開始判断タイミング（乗務員が乗車している場合）

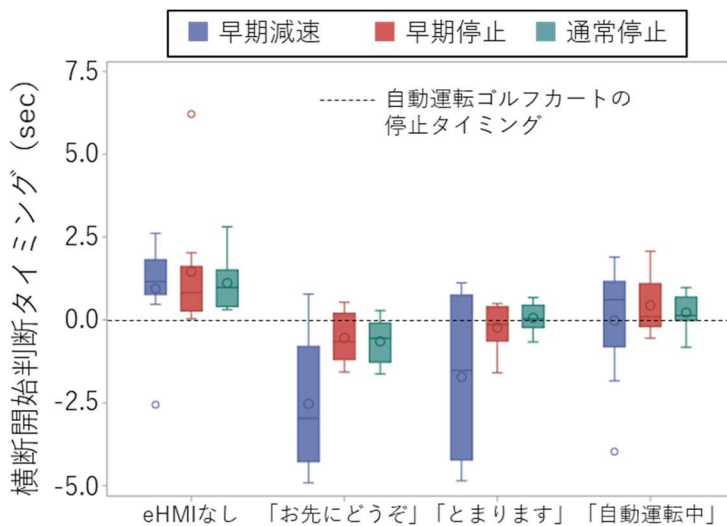


図 1-51 横断開始判断タイミング（乗務員が乗車していない場合）

(2) 横断判断時の不安感

自動運転サービスカーの接近に対する横断開始タイミングの結果を乗務員の有無に基づいてまとめた。その結果を図 1-52 および図 1-53 にそれぞれ示す。評点値が高いほど横断判断時の不安が高く、評点値が低いほど横断判断時の不安が低いことを表す。

乗務員が乗車している場合を対象にすると、eHMI が装備されない場合には、早期減速と早期停止で比較的不安感が高い傾向が見られたが、通常停止ではそれらと比較してやや低い傾向が見られた。eHMI が装備されている場合には、

いずれの場合も早期減速で不安感が高い傾向が見られたが、それ以外の通常停止、早期停止では不安感が低く、特に eHMI で「とまります」を伝達して早期停止する場合に不安感がより低くなる傾向が見られた。

一方、乗務員が乗車していない場合においては、乗務員が乗車している場合と比較して、全体的に不安感が高める傾向が見られたものの、eHMI で「とまります」を伝達して早期停止する場合には、不安感の増加が他の条件と比較して抑制される傾向が見られた。

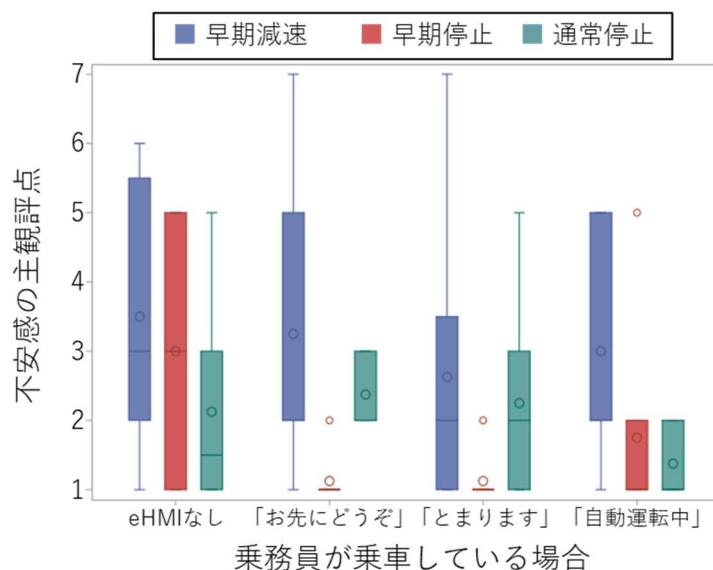


図 1-52 横断判断時の不安感の主観評点（乗務員が乗車している場合）

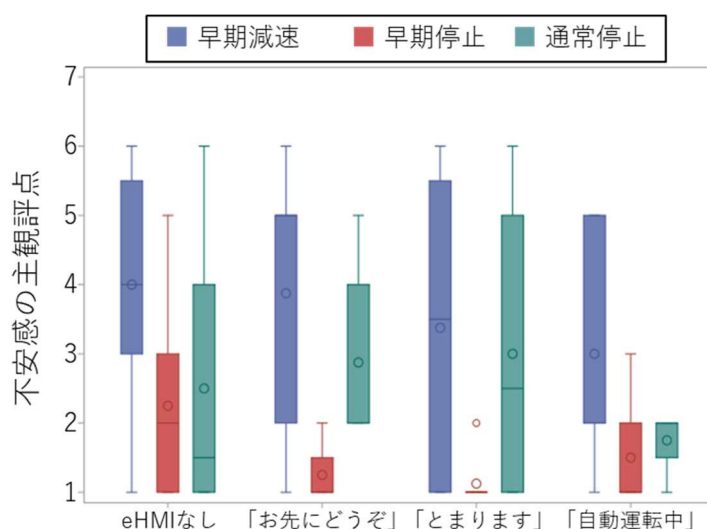


図 1-53 横断判断時の不安感の主観評点（乗務員が乗車していない場合）

---

---

### 1.5.1.11. 考察

本研究では、3種類の減速挙動と eHMI の有無および 3種類の eHMI を含めた 4つの条件が歩行者の横断判断や心理面に与える影響について検討した。基本的に、低速走行であることから減速挙動による横断判断への影響は大きく現れることはなく、eHMI によるメッセージの違い、またそれらと減速挙動による相互作用が現れる結果となった。具体的には、eHMI なしの条件では、3種類の減速挙動による違いはほとんどなく、また自動運転サービスカーの停止後、数秒経過してから横断判断している状況であったことから、停止直前などのほぼ停止に至る状況がほぼ予想可能と思われる状況であっても本研究で設定したような、自動運転サービスカーが低速走行状態から減速挙動に至るといった状況だけでは最終的に横断可能との判断に至ることが難しい状況であったと推察される。

これに対して、eHMI にて“自動運転中”のメッセージ発信では、eHMI なしに比較して、横断開始の判断タイミングが同様であるか、若干早まる程度に留まったが、これは、自動運転サービスカーが自動運転状態にあることを eHMI により伝達しても、歩行者が自動運転サービスカーの挙動目的、行動意図を認識、判断することが難しく、その結果、完全に停止した状態を確認した後に横断開始を判断するに至ったものと考えられる。“自動運転中”の表示については、自動運転である情報のみを提示するのでは歩行者の判断に大きな影響がないこと (Dey et al., 2019) [3]が報告されており、本研究の結果と一致する。

一方、eHMI にて“とまります”や“お先にどうぞ”などのメッセージ発信では、おおむね自動運転サービスカーの停止よりも少し早いタイミングで横断開始の判断がなされていることから、これらのメッセージ発信があることにより、停止に至る減速過程の状態であっても自動運転サービスカーの行動意図を理解することができ、そのことが早い段階での横断開始の判断を支援したものと考えられる。“お先のどうぞ”などの相手に行動を促す表示については、歩行者に好まれる傾向にあること (Ackermann et al., 2019) [4]が報告されており、本研究の結果と一致する。また早期減速と eHMI の組合せにおいては、より早い段階での横断開始の判断に至っていることから、減速を開始する車両挙動と eHMI による自動運転サービスカーの意図の明確な伝達は、歩行者の早い段階での横断開始の判断を支援する効果があるものと考えられる。しかしながら、不安感への影響では、この組合せに対する不安は高く、また不安感に対する減速挙動と eHMI の相互作用の要素が存在する。不安感が高い条件を確認すると、いずれも早期減速の減速挙動が関与していることから、不安感の低減には、自動運転サービスカーが停車状態に至ったという状態が必要であり、そのような

---

---

---

---

停止状態と eHMI による明確な意図伝達（この場合、“とまります” “お先にどうぞ” など）の組合せが寄与するものと考えられる。

乗務員が乗車していない（無人状態）については、乗務員が乗車している状態と比較すると、減速挙動の種類と eHMI の組合せにも依存するが、メッセージ発信の効果が若干低下するものが見られ、具体的には、“お先にどうぞ”と早期停止の組合せでは、横断開始の判断タイミングはやや遅れ、また不安感が増加する結果となった。無人状態にて減速から停止までに至る距離（あるいは時間）が長いと、譲りの意図を表明されても走行を継続している、本当に停止するのか、譲られているのか、といった不安が歩行者に生じている可能性が考えられる。その一方で、早期停止の減速挙動は、無人状態の影響を受けにくい結果となっており、乗務員が乗車していない無人での運行状態にて横断待ちの歩行者に進路を譲る場合には、減速から停止までの時間や距離を短縮すること、歩行者より離れて停止すること、eHMI にて自動運転サービスカーの意図を伝達することなどの設計要素が推奨されるものと考えられる。

#### 1.5.1.12. 本節のまとめ

道の駅等を拠点とした自動運転サービスで想定されるコミュニケーション場面のうち、横断ケースを対象にそのコミュニケーション方法を構内道路実験により分析評価した。実験を通じて次のような結果が得られた。

- eHMI の未実装は、減速挙動に関わりなく、自動運転ゴルフカートの停止直後でも譲られていないと歩行者に感じさせ、横断開始の判断タイミングを遅延させる
- eHMI の実装（「とまります」などの停止意図や「お先にどうぞ」などの譲り意図の伝達）は、歩行者に早いタイミングでの横断開始の判断を提供し、不安感の低減にも寄与。早期減速との組合せでより高い効果が期待できる（ただし、無人状態での運行時は除く）
- 乗務員が乗車していない自動運転状態（無人状態）は、乗務員が乗車している場合と比較して、早期減速による横断開始の判断タイミングの遅延、eHMI（停止意図）での不安感の増大を誘発。早期停止と eHMI の組合せでは改善効果が示唆される

---

---

## 1.5.2. 自動運転サービスカーの eHMI が後続ドライバーの認識・確認行動に与える影響に関する研究

### 1.5.2.1. 本研究の目的

自動運転サービスカーの eHMI が後続ドライバーの認識・確認行動に与える影響を検討することを目的とする。なお本研究は慶應義塾大学理工学部理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。

### 1.5.2.2. 実験装置・環境

本実験では、図 1-54 に示されるドライビングシミュレータ（慶應義塾大学・国土技術政策総合研究所共同開発、三菱プレジジョン（株）製作、以降 DS）を使用した。DS は、実験被験者が乗り込む車両、150 インチ映像スクリーン 8 画面、6 自由度動揺装置、プロジェクタなどから構成したもので、運転席からの実験参加者の視野が 360 度になるように構成されているものであった。また、実験被験者の運転操作による車両挙動に応じて動揺装置が動作した。実験参加者の視線方向や視線の動きを計測するため、視線計測装置（Smart Eye）を導入し DS と接続・同期計測した。

この DS において、図 1-55 に示される自動運転サービスカーのコンピュータグラフィックスを製作して DS 環境内に導入した。自動運転サービスカーは、走行速度や車両挙動、通行区分などについて任意の設定が可能であったが、本実験では、中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転実証実験での運行に準拠して、自動運転中の走行速度の上限を 12km/h に、また運行軌道を車道部・通行区分の路肩寄り（左寄り）に設定した。



図 1-54 ドライビングシミュレータ





図 1-55 自動運転サービスカー



図 1-56 DS での道路環境の例

道路環境については、中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転実証実験の運行地域を参考にして、図 1-56 に示されるような白色中央線(破線)の敷設された片側一車線(約 3m)、法定速度 40km/h を想定した単路部を含んだ道路環境を設定したほか、交差部や丁字路、黄色中央線などの敷設区間なども合わせて設定した。

#### 1.5.2.3. eHMI メッセージ

eHMI に関して、図 1-57 に示される 3 種類の eHMI メッセージを設定した。eHMI メッセージは、自動運転サービスカーが自動運転車であること、低速で走行していることを後続ドライバーに伝達するためのメッセージ、後続ドライバーに対して追越の際は注意して欲しいことを伝達するためのメッセージ、参考のための eHMI として、後続ドライバーに対して譲りを表明するとともに周囲に注意して欲しいことを伝達するためのメッセージをそれぞれ設定した。2 種類のメッセージを表示する eHMI の場合は、1 秒間隔でメッセージを切り替える設定とした。これらの eHMI の条件に対し、統制条件として、eHMI を設定しない「eHMI なし」の条件も追加した。これら eHMI は、図 1-58 に示されるように、自動運転サービスカーの後方(背面)に設定して、常時表示されているように設定した。

---

---

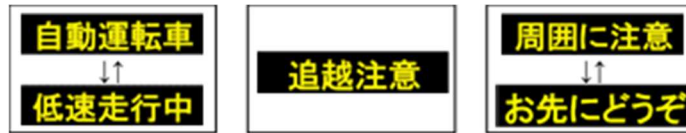


図 1-57 eHMI メッセージの種類



図 1-58 後方へ表示される eHMI メッセージの状況

#### 1.5.2.4. 実験シナリオ

本実験では、被験者の車両が片側一車線道路の単路上のスタート地点に停車した状態から車両を発進させ、約 400m の走行後に、自動運転サービスカーの後方に接近、遭遇する交通場面を再現した。自動運転サービスカーの後方を追従したあと、白色中央線の区間で自動運転サービスカーが走行中の状態で追越が求められる場合、黄色中央線の区間で自動運転サービスカーが走行中から減速、停止に至る状況で追越が求められる場合の 2 種類の交通場面を設定した。これらに関わる自動運転サービスカーの車両挙動、対向車の交通状況、追従車の有無、eHMI のメッセージの組合せを表 1-11 に示す。実験順序(トライアル)の 1 回目から 8 回目については、対向車との接触やニアミス等のヒヤリハットが生じない交通状況を設定し、9 回目については、対向車線方向に対して十分な確認行動を行わない場合に対向車との接触やニアミスが生じやすい交通場面を設定した。この 9 回目のトライアルでは、4 つのグループ(被験者グループ)間で、体験する eHMI の条件が異なる設定とした。

表 1-11 実験シナリオ

トライアル	eHMIのメッセージ	自動運転車の車両挙動	自動運転車視認前に対向車が3台走行	自動運転車遭遇前に対向車が5台走行	追従車の有無
1	自動運転車 低速走行中	走行し続ける	なし	あり	なし
2	支援なし		なし	なし	なし
3	自動運転車 低速走行中		あり	あり	なし
4	追越注意		なし	あり	あり
5	周囲に注意 お先にどうぞ		あり	あり	あり
6	追越注意		あり	なし	なし
7	支援なし		なし	なし	あり
8	周囲に注意 お先にどうぞ		あり	なし	あり
9	グループ1:支援なし グループ2:自動運転車 低速走行中 グループ3:追越注意 グループ4:周囲に注意 お先にどうぞ		あり	なし	あり

### 1.5.2.5. 被験者

実験に参加した被験者は、表 1-12 に示される通り、20 歳代から 50 歳代までの合計 32 名であり、9 回目のトライアルにおける各グループ（eHMI の条件）に対して、年齢、性別が均等になるよう配置した。いずれの被験者も、運転免許所有者であり、視力(矯正含む)は両眼 1.0 以上の運転に支障のない健康者であり、日常的な運転経験を有する者であった。

表 1-12 被験者の属性

グループ	eHMIのメッセージ	20代		30代		40代		50代	
		男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性
1	支援なし	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人
2	自動運転車 低速走行中	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人
3	追越注意	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人
4	周囲に注意 お先にどうぞ	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人

### 1.5.2.6. 実験手順・教示

実験では、最初に実験の概要や実験参加の諸注意などを説明するとともに、インフォームドコンセントを含めた実験参加への同意手続きを実施した。その実験走行に関する説明として、DS 上では、被験者自身の日常的な運転行動と同様なものを DS 上で再現すること、片側一車線道路の単路区間での法定速度が 40km/h であること、自動運転サービスカーの仕様や特徴などを説明した。次に実際に DS 上での運転走行に慣れてもらうために、直進、先行車への追従・追越、交差点での右折・左折などを含めた総合的な練習走行を実施し、自動運転サービスカーに装備された eHMI のメッセージについては実際に確認してもらいながら説明した。これらの説明や事前準備を実施した後、実験計測を開始した。1 回目から 9 回目までのトライアルに対して、各トライアル終了直後に質問紙を利用した調査を実施した。9 回目のトライアルについてはさらに質問項目を追加した上での質問紙調査を実施した。

### 1.5.2.7. 計測・評価項目

本実験で設定した計測・評価項目を表 1-13 に示す。運転行動に関しては、被験者の車両の車両挙動のほか、被験者の運転行動に伴う視線を DS での記録データと同期させて計測した。また各実験のトライアル直後に実施した質問項

目に関しては、自動運転サービスカーから注意喚起されている認識、自動運転サービスカーから進路を譲られている認識、自動運転サービスカーの後続にて追従走行している状況に対するイラつき感について、それぞれ1点から7点までのリカート尺度に基づいて計測した。

表 1-13 計測・評価項目

分類	評価対象	評価指標	データ収集方法
運転手の認識	注意喚起の認識	「周囲を確認して追い越してほしい」という意図を感じた	7段階評価（1：まったくあてはまらない～7：非常に良くあてはまる）
	譲り意図の認識	自動運転サービスカーに譲られたと感じた	
	イラつき感の認識	メッセージに対してイラつきを感じた	
運転手の行動	追い越し時の確認行動	周辺状況注視時間	Smart Eye Pro による視線計測（メッセージへの視線を外した後から中央線をはみ出すまでの時間を計測）

#### 1.5.2.8. 実験結果

自動運転サービスカーに接近して追従の後、追越を開始するまでの周囲状況への視認時間を図 1-59 に示す。eHMI を装備していない状況では、周囲状況への視認時間は5秒から6秒程度であったが、eHMI を装備して「追越注意」を伝達することで6秒から9秒程度に視認時間の増大を促す結果となった。一方、参考として設定した「周囲に注意/お先にどうぞ」（交互表示）を eHMI により伝達した場合には周囲状況への視認時間は3.5秒から4.5秒程度となり、eHMI が装備されていない状況と比較して、周囲状況への視認時間を減少させる結果となった。eHMI により「自動運転車/低速走行中」（交互表示）を伝達した場合には周囲状況への視認時間は5秒程度であり eHMI が装備されていない状況と比較して若干短い結果となったがばらつきは少なく概ね同様な時間を確保していた。

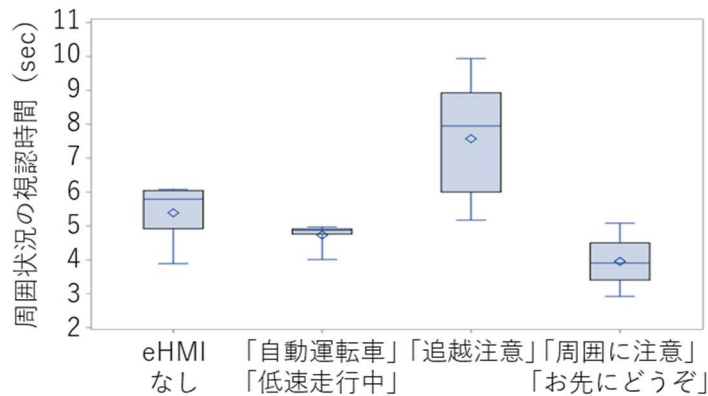


図 1-59 追越場面での周囲状況への視認時間

自動運転サービスカーに接近して追従している状況において、自動運転サービスカーからの譲り意図の認識に関する主観評点の結果を図 1-60 に示す。主観評点値が高いほど、自動運転サービスカーから進路を譲られていることを強く認識していたと解釈される。eHMI を装備していない場合には、主観評点値は低く、自動運転サービスカーから進路を譲られている認識されていない状況であるが、eHMI を装備して「周囲に注意/お先にどうぞ」(交互表示)を伝達すると、自動運転サービスカーから進路を譲られていると強く認識される結果となった。また eHMI で「追越注意」や「自動運転車/低速走行中」(交互表示)を伝達した場合でも、eHMI を装備しない場合と比較して、自動運転サービスカーから進路を譲られていると後続ドライバーに認識させられる結果となった。

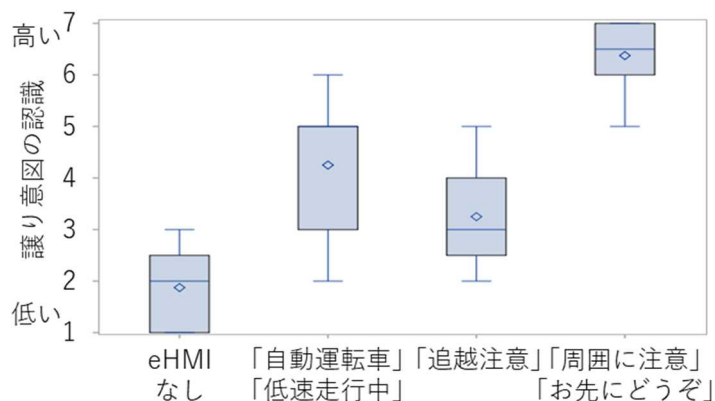


図 1-60 追従時における譲り意図の認識

自動運転サービスカーに接近して追従している状況において、自動運転サービスカーに対するいらつきの心理状態に関する主観評点の結果を図 1-61 に示す。主観評点値が高いほど、自動運転サービスカーに対していらつきの心理状態を強く感じていたと解釈される。eHMI を装備していない場合には、主観評点値は高く、自動運転サービスカーに対していらつきの心理状態にある状況であるが、eHMI を装備して「周囲に注意/お先にどうぞ」（交互表示）を伝達すると、自動運転サービスカーに対していらつきの心理を低減する結果となった。また eHMI で「追越注意」や「自動運転車/低速走行中」（交互表示）を伝達した場合でも、eHMI を装備しない場合と比較して、「周囲に注意/お先にどうぞ」（交互表示）ほどではないが、自動運転サービスカーから進路に対していらつきの心理を低減する結果となった。

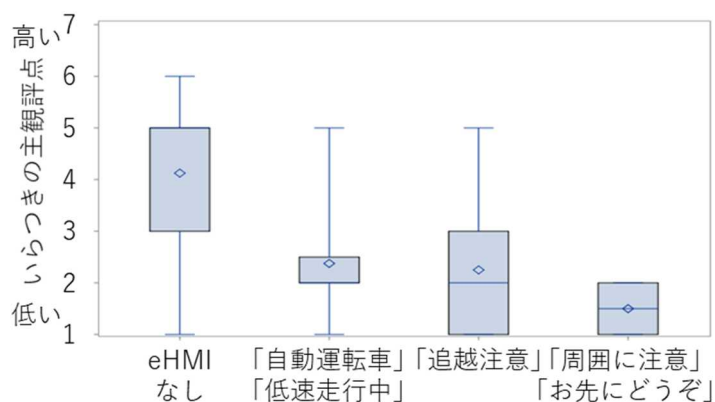


図 1-61 追従時のいらつきの程度

#### 1.5.2.9. 考察

低速走行の自動運転サービスカーに接近し、追越を開始するまでの周囲状況への視認時間は、eHMI によるメッセージの違いによって異なる結果となった。eHMI を装備しない場合を基準とすると、「周囲に注意/お先にどうぞ」（交互表示）では、周囲に注意するよう伝達しているにもかかわらず、周囲状況への視認時間が減少する結果に至っていることから、もう一つのメッセージである「お先にどうぞ」を伝達したことが後続ドライバーの周囲状況への視認時間を低下させた可能性がある。このメッセージに対する譲り意図の認識は非常に高い結果となったが、先行研究（Mitman et al., 2008; Zhuang & Wu, 2012）[5][6]によれば、譲り意図を高く感じる eHMI ほど周辺状況の確認行動が抑制されることが報告されており、本研究の結果と合致する。またこのような eHMI による譲り意図の表明は、自動運転サービスカーが代わりに周囲状況を把握した上

---

---

で表明されたものと解釈されている可能性があり、後続ドライバーが eHMI に依存している状況が示唆される。その一方で、「追越注意」の伝達はメッセージに「注意」の文言が含まれているだけで「お先にどうぞ」のような直接的な譲り意図の文言は含まれておらず、また「自動運転車/低速走行中」の伝達はメッセージに「注意」の文言すら含まれてないが、実験結果からは、eHMI を装備しない場合と比較すると、自動運転サービスカーからの譲り意図を後続ドライバーが認識していることから、まず eHMI を装備せずに低速走行で運行継続することは後続ドライバーに対して何ら譲り意図を表明できていないこと、譲り意図を認識されないことを示唆するものである。それに対して、eHMI を装備して「お先にどうぞ」などの直接的な譲り意図の表明を行わずとも「追越注意」は「追い越す際には注意が必要である」などの解釈がなされている可能性があり、それは自動運転サービスカーが間接的に進路を譲ろうとしていることを推測させているものと考えられる。同様であるが、「自動運転車/低速走行中」(交互表示)は「自動運転車であり(安全上)低速走行中なのでそのような状況を理解して欲しい」などの解釈がなされている可能性が考えられる。そのような解釈のもとであれば、後続ドライバーに対して「追い越して欲しい」と解釈された可能性は考えられる。

自動運転サービスカーに接近して追従状態にある場合の後続ドライバーのいらつきの心理は、eHMI が装備されない場合に高い傾向を示したが、この理由として、自動運転サービスカーが後続ドライバーに何も伝達していない状況が原因になっている可能性が考えられる。つまり、後続ドライバーが自動運転サービスカーの後方で他車両が追従状態にあるにもかかわらず、左に寄って停止する、あるいはそれに至る意図(左ウインカーやハザードランプの点灯など)を表明していない、あるいはそのように表明できない理由が推測できないなど、後続車の追従を伴う運行状態を維持し続けている自動運転サービスカーへの理解困難も起因している可能性が考えられる。一方、後続ドライバーがそのような状態に対する何らかの理由や解釈を把握/推測することができれば、後続ドライバーのいらつきの心理を低減させることが可能であることを示唆する結果であると考えられる。

---

---

#### 1.5.2.10. 本節のまとめ

道の駅等を拠点とした自動運転サービスにおいて、単路部における低速走行の自動運転サービスカーと後続ドライバーの間で多く観測される不安全な追越場面を対象に、コミュニケーション支援により不安全な追越行動を低減する自動運転サービスカーに eHMI を提案してドライビングシミュレータ実験によりその効果を分析検討した。実験を通じて以下の結果が得られた。

- 低速走行の自動運転サービスカーに eHMI を装備して「周囲に注意/お先にどうぞ」(交互表示) など直接的な譲り意図を伝達すると、eHMI を装備していない場合と比較して、追越場面での周囲状況の視認時間減少を誘発する
- 低速走行の自動運転サービスカーに eHMI を装備して「追越注意」を後続ドライバーに伝達することで、追越場面での周囲状況の視認時間を増大させる効果があり、直接的な譲り意図を文言に含まず具体的な状況に対する「注意」という文言を含めることが寄与した可能性がある
- 低速走行の自動運転サービスカーに eHMI を装備して、直接的な譲り意図を表明する文言を含めない状態で、「追越注意」や「自動運転車/低速走行中」(交互表示) のようなメッセージを伝達することでも、後続ドライバーには間接的に譲り意図を伝達できることを示唆する
- 低速走行の自動運転サービスカーに eHMI を装備せず、低速走行での運行を継続すると後続ドライバーのいらつきの心理を高める。一方、eHMI を装備してメッセージを伝達し、その運行状態に対する後続ドライバーの理解や推測が行われると、いらつきの心理を抑制できる可能性が示唆される



---

---

## 1.6. 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのためのeHMI等に関する検討と提案

### 1.6.1. 接近・回避ケースにおける歩行者の判断・行動を支援する自動運転サービスのコミュニケーション方法に関する事前検討

#### 1.6.1.1. 実験目的

道の駅を拠点とした自動運転サービスの展開を想定し、2020年度から、単路部を対象とした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションのあり方について取り組んできた。自動運転車の接近と歩行者の適切な回避を促せる支援方法を提案するため、本調査では、後ろから接近する自動運転車と遭遇した際の歩行者の印象と、望ましい支援の手がかりについて調べるための事前検討と位置づけビデオ視聴実験を実施した。具体的には、歩行者が自動運転車の意図を理解でき、適切かつ十分な回避行動を取るために、自動運転車が伝えるべき内容やそれを伝えるモダリティに関する意見を収集した。また単路上でのコミュニケーションであっても接近・回避ケースなどにおいては、車両と歩行者の通行区分の境界が明確ではなく、共有空間でのコミュニケーションに近い状況であると考えられる。そこで本研究では、単路部におけるそのような交通場面についても共有空間でのコミュニケーションとして捉えて検討することとした。なお本研究は慶應義塾大学理工学部理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。

#### 1.6.1.2. 実験装置および被験者

慶應義塾大学新川崎K<sup>2</sup>タウンキャンパスK棟104号室にて実験を実施した。1.3.1節で記述したVIVE PROに視線計測機能が搭載されたVIVE PRO EYEを装着して、奥永源寺の単路部を模擬し、歩行者の後ろから接近してくる自動運転ゴルフカートに気づいて振り向く場面を録画した。ビデオを視聴させるため、PCを使用してビデオ映像を操作し、PCからの外部モニター端子に接続した24インチモニターによりビデオ映像を表示した。本実験に参加する被験者を表1-14に示す。被験者は運転免許証を所有している一般の男性5名、女性4名であり、正常な視力を有していた。

表 1-14 被験者の性別と年齢帯

性別	年齢	人数
男性	20-36歳、平均25歳	5
女性	20-49歳、平均32.25歳	4

---

---

### 1.6.1.3. 実験タスク

本実験では、被験者にビデオを視聴してもらい、ビデオの交通場面における被験者の意見を収集した。被験者は、歩行者が振り向いて路肩に移動するまでの流れを視聴した後、さらに移動を求められる際にはどこまで移動するか、その際にはどのような案内が与えられた方が良いかにおいて回答した。ビデオの再生や追加移動までのコマ送り操作等は、実験者が実施した。

### 1.6.1.4. 実験条件および構成

ビデオ視聴実験で用いた条件は、コミュニケーション方法のない条件（以下、支援なし）、ディスプレイを用いて“すすみます”のテキストメッセージを発信する条件（以下、視覚・eHMI）、自動運転車の走行路を表す青い路面標示が提供された条件（以下、路面標示）の3つであった。また単路部を模擬した交通場面を対象として実験を実施した。ビデオでは、目的地として青いポータルを設定して、その目的地に向かって歩行する歩行者の視点で再生した。すべての実験条件において、ビデオ視聴の間に次の3つのフェーズにおいてインタビューを実施した。

（フェーズ 1）歩行している途中で、歩行者は後方を振り返り、接近してきた自動運転車と対面した。この時点において、被験者にはこの自動運転車がどのような意図を持っているように見えるかを回答して頂いた。

（フェーズ 2）その後、自動運転車が進行したい意図を有していることから、歩行者に対して、自動運転車の進路からの回避を依頼したい状況を設定した。被験者には、その際、歩行者が自動運転車と対面している状態から横方向に移動する状況のビデオ（歩行者視点）を視聴してもらい、「進路を譲ってほしい」という意図伝達のメッセージとして考えられる案について意見収集した。

（フェーズ 3）次に、歩行者が自動運転車の進路から回避したが、自動運転車にとってその回避状態では進行できず、回避が不十分であること検知して、歩行者に対してさらなる回避を依頼したい場面を設定した。その際、どの程度の距離を移動したら自動運転車が回避できるのかをビデオをコマ送りして確認してもらい、追加の回避依頼を行う際に自動運転車からの意図伝達のメッセージとして適切であると思われる文言について調査した。

### 1.6.1.5. 実験手続き

本実験は、慶應義塾大学理工学部・理工学研究科生命倫理委員会からの承認を得て実施された。実験開始前に、被験者に対して実験内容の説明を行い、実験協力への同意を得て、年齢、性別、視力、普段の歩行の特性、運転頻度等について事前にアンケート調査を行った。実験者は、ディスプレイでビデオを再生した。被験者は、各コミュニケーション方法におけるビデオを視聴し、フェーズ毎にアンケートを実施した。順序として、「支援方法なし」におけるビデオを先に再生した。

### 1.6.1.6. 評価項目

本実験では、表 1-15 に示される質問内容を用いて被験者の意見を収集した。

表 1-15 実験で用いた質問内容

フェーズ	質問文
1	今、自動運転車がどのような意図を持っていると思いますか？
2	この状況で、車がどのように伝えたら、歩行者は回避しなければならないと思いますか？
3	自動運転車があなたに対してさらに避けてもらいたいと願うとき、自動運転車はあなたにどのように伝えたら良いと思いますか？

### 1.6.1.7. 実験結果

#### (1) 自動運転車の意図の理解

フェーズ 1 の質問文から得られた意見を図 1-62 に示す。被験者は、単路部において、後ろから近づいてくる自動運転車と対面した際の歩行者の視線から、停止している自動運転車がどのような意図を持っているかについて回答した。「支援方法なし」条件においては、“進みたい”や“人がいるから止まっている”等、歩行者が走行に邪魔になると認識した意見が得られた。しかし、「視覚・eHMI」と「路面標示」条件では、“わからない”の意見が得られなかった反面、「支援方法なし」では、自動運転車が持つ意図がわからないと答えた人がいた。「視覚・eHMI」では、eHMI が“すすみます”のメッセージを発信したため、被験者 9 名の中 8 名は、自動運転車が進みたがると回答し、残りの 1 名も進むので回避を依頼していることだと回答した。「路面標示」条件においても、“進みたい”の意見が最も多く得られており、標示のおかげで、路面に引かれている線と関わる意見も次に多く得られた。

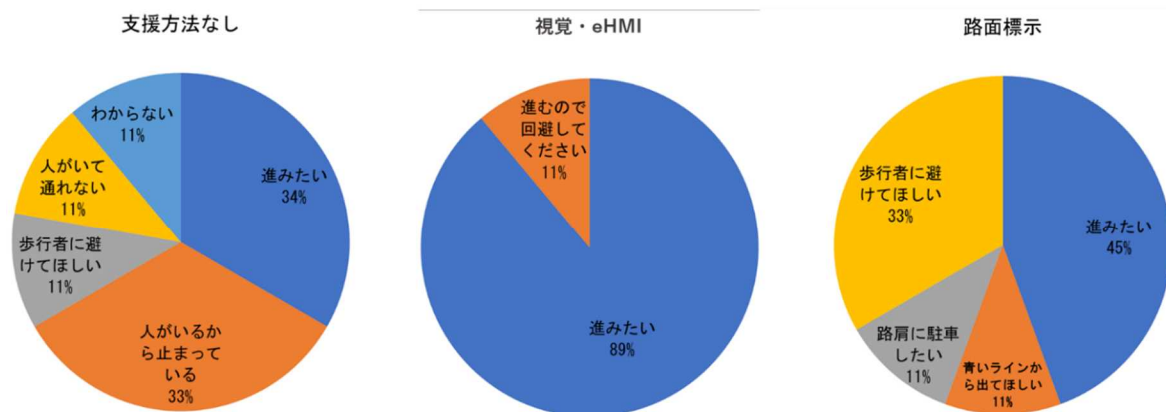


図 1-62 eHMI の有無、種類に基づく横断開始タイミングの分類・割合

## (2) 歩行者の回避を促す方法

表 1-15 に示されるフェーズ 2 の質問内容に基づいて、歩行者の回避を促す方法について調査した。質問に対して被験者から得られた結果を表 1-16 に示す。全ての条件において、視覚・eHMI が発信する内容として考えられるメッセージを提案された。全ての条件において、“回避してください（避けてください）” が最も多く提案された。「視覚・eHMI」を経験後も、多くの参加者は、音声でメッセージを発信する条件（以下、聴覚・eHMI）による案内が望ましいと提案した。メッセージとしても、“回避してください” が最も多く提案された。この結果から、歩行者の回避を促すには、“回避してください” のメッセージを視覚と聴覚両方の手段を用いて与えられると考えられる。

表 1-16 フェーズ 2 の実験で得られた意見

実験条件	モダリティ	案内内容・詳細
支援なし	視覚・eHMI	回避してください（地味に赤）、自動運転中、通ります、避けてください、進みます
	聴覚・eHMI	道を譲ってください、歩道に避けてください、進みます、回避してください、危険です、危ないです
	その他	ランプの点灯、ランプの点滅、ピープ音、クラクション
視覚・eHMI	視覚・eHMI	回避してください、進みます（色の入れ替え）、進めません
	聴覚・eHMI	回避してください、離れてください、危険です、避けてください、進みます
	その他	ランプの点滅（赤・黄色）、ピープ音、クラクション、必要なし
路面標示	視覚・eHMI	回避してください、前進できません、自動運転中
	聴覚・eHMI	回避してください、前進できません、危険です、進みます、避けてください、どの程度離れば良いかにおける案内
	その他	ランプの点滅（青）、音

### (3) 歩行者の回避が不十分である場合に回避をさらに促す方法の検討

フェーズ 3 の質問内容に基づいて、被験者から得られた意見を表 1-17 に示す。歩行者は回避したが、その回避が不十分だった場合に、自動運転車が運行を再開できる距離をあけるため考えられる追加の支援方法を調べた。ここでは、フェーズ 2 の結果と類似した意見が得られた。全ての条件において“回避してください（避けてください）”が含まれる文言が多く提案された。また、それらに代替する文言として、追加で依頼を行うことから、具体的な数値を入れた文言（例：〇m 離れてください）や繰り返し等の方法も提案された。

表 1-17 フェーズ 3 の実験で得られた意見

実験条件	モダリティ	案内内容・詳細
支援なし	視覚・eHMI	回避してください（2 回程度繰り返す）、離れください、避けてください（白・黒から赤）、通りますからもう少し避けてください（表示の切り替え）
	聴覚・eHMI	回避してください、もう少し避けてください、○m 以上離れてください、○m 避けてください、端まで避けてください、進みます
	その他	ランプ点滅（赤・黄色）、クラクション、歩行者が安全なところに行くまで警告音を鳴らす
視覚・eHMI	視覚・eHMI	回避してください、進みます（白・黒）、自動運転中
	聴覚・eHMI	回避してください、○m 以上離れてください、○m 避けてください、もう少し避けてください、もう少し回避してください、進みます
	その他	ランプの点滅（赤・黄色）、警告音、クラクション、必要なし
路面標示	視覚・eHMI	回避してください、自動運転中
	聴覚・eHMI	回避してください、○m 以上離れてください、○m 離れてください、もう少し避けてください・ご協力お願いします、もう少し回避してください、進みます
	その他	ランプの点滅（赤・黄）、ビーブ音（音量高め）、クラクション

---

---

#### 1.6.1.8. 考察

本実験では、ビデオ実験を通じて、単路部における円滑な歩車間コミュニケーションを支援する方法を調べた。詳細には、VR 実験上で歩行者目線のビデオを作成し、被験者に視聴させる実験を行った。実験で得られた意見では、後ろから接近した自動運転車と対面した際に、歩行者は、支援方法がなくても自動運転車が“前進したい”の意思を持っていると認識できることがわかった。しかし、「視覚・eHMI」や「路面標示」の条件の結果から、自動運転車の意図を理解するためには、支援方法が提示された方が効果的であることが示唆された。自動運転車が“回避してください”のテキストメッセージを発信する eHMI や聴覚メッセージを発信する eHMI を用いることで、歩行者を路肩に回避させる効果が最も高いと考えられる。さらに、歩行者の回避が不十分である際には、聴覚メッセージの繰り返しや具体的にどこまで避けてほしいかにおける追加案内が効果的だと考えられる。

---

---

## 1.6.2. 「視覚・eHMI」「聴覚・eHMI」「路面標示」を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討

### 1.6.2.1. 実験目的および概要

本実験では、道の駅周辺の単路部における接近・回避ケースを対象にした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションについて検討した。自動運転車が歩行者の後方から接近する場面を対象に、歩行者の意思決定と行為実行を円滑に促せる支援方法を 1.6.1 節で言及したビデオ視聴実験から得られた結果に基づいて、歩行者に自動運転車の意図を音声で伝達する方法を VR 環境上で実装した。1.6.1 節と同様に、道の駅等での自動運転サービスとして導入されている低速走行の自動運転ゴルフカートを想定して、接近・回避ケースにおけるコミュニケーション方法として、路面標示、テキストメッセージを発信する eHMI、聴覚メッセージを発信する eHMI の 3 つを実装した。過年度の実験において、テキストメッセージを発信する eHMI と路面標示を活用したコミュニケーションについてその効果が得られていることから、本実験では、聴覚メッセージを対象にした支援方法のみを対象にして VR 実験を実施した。なお本研究は慶應義塾大学理工学部理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。

### 1.6.2.2. 実験環境および実験装置

本実験は、慶應義塾大学新川崎 K<sup>2</sup> タウンキャンパス K 棟 104 号室にて実施した。道の駅等の実証実験の一つである奥永源寺の単路部を VR 環境上で模擬・再現した。その交通場面の例を図 1-63 に示す。車道と歩道の境界が明確でない単路を歩行する被験者の後方から、低速走行する自動運転ゴルフカートが接近してくる場面を設定した。実験では、被験者と自動運転ゴルフカートの間の距離が特定の値未満になったら被験者に警告音を提示して、歩行者に自動運転ゴルフカートの存在を気づかせた。自動運転ゴルフカートは、被験者が回避するまでは停止した状態を維持した。被験者と自動運転車との間の距離が特定の値以上になったら歩行者の存在が自動運転ゴルフカートの通行の妨げにならなくなり、自動運転ゴルフカートの走行が再開した。





図 1-63 VR 環境上で再現した道の駅（奥永源寺）周辺の単路部

#### 1.6.2.3. 実験条件および実験タスク

被験者は、1.6.1 節で記述した視線計測機能が搭載された VIVE PRO EYE を装着して、VR 環境にて再現される交通場面を体験した。ヘッドマウントディスプレイを頭部に装着し、コントローラを手に握り操作して自由に歩行移動することが可能であった。本実験で実装した自動運転ゴルフカートは、“すすみます”と聴覚メッセージを流すことで、歩行者の回避を依頼した。さらに、歩行者の回避が不十分だった場合、“もう少し避けてください”と追加の聴覚メッセージを提示した。本条件は、被験者に聴覚での案内を実施することから「聴覚・eHMI」と記載する。

#### 1.6.2.4. 実験の流れおよび被験者

最初に VR 空間とコントローラの操作に慣れつつ回避の感覚を覚えさせるために後ろから接近してくる自動運転オーナーカーを対象として3回の練習試行を実施した。本実験の対象となるゴルフカート、赤来高原の駐車場、コミュニケーション支援方法に対する経験によって生じる学習効果を抑制するため、練習試行は道の駅芦北でこぼんエリアを再現した交通場面を用意した。また、練習試行では、支援方法は実施されなかった。3つの練習試行を経験してから、本試行を実施した。被験者は、1回目と2回目の本試行では、同じ実験条件を違う道路環境で経験した。3回目から5回目までは、二つの道路環境において「支援方法なし」、「視覚・eHMI」、「路面標示」をランダムに経験した。その後、6回目の試行では、1回目に経験した道路環境において「聴覚・eHMI」条件を体験した。本実験は、単路部でのコミュニケーション支援方法に着目したことから、1回目の試行では、単路での「聴覚・eHMI」条件を経験させた。被験者

の性別と年齢帯は、表 1-18 に示す。

表 1-18 単路部での「聴覚・eHMI」の被験者の年齢構成等の詳細

実験条件	性別	年齢	人数
聴覚・eHMI	男性	20-57 歳、平均 38.75 歳	3
	女性	20-58 歳、平均 40.88 歳	4

#### 1.6.2.5. 評価項目

本実験では、「聴覚・eHMI」による歩行者の回避有無を計測した。また、被験者には、各試行終了後に VR 空間に主観評価アンケートが表示され、各項目について 7 段階のスケールで口頭にて回答してもらった。アンケートの内容は、1.3.1 節で述べた実験のアンケートと同様であり、自動運転者の意図の理解における効果、自動運転車への信頼感、自動運転車への不安感、自動運転車への安心感について調査した。

#### 1.6.2.6. 実験結果

道の駅の単路部でのコミュニケーション支援方法を初めて経験した際の心理面を把握するために、1 回目と 6 回目の本試行でのデータを分析した。すなわち、3 回目から 5 回目の本試行のデータは評価の対象として含めてない。表 1-19 は、1・2 回目の本試行後のアンケートで得られた各評価項目の平均と標準偏差（括弧）を示す。

表 1-19 単路部における「聴覚・eHMI」条件でのアンケート評価

試行	理解度	信頼感	不安感	安心感
1 回目	2.29 (1.7)	2.86 (1.57)	2.58 (1.4)	3 (1.53)
6 回目	1.72 (0.95)	3.29 (0.76)	2.72 (0.95)	3.74 (1.38)

安心感の評価では、数値が高いほど、歩行者は自動運転車に対して不安を感じたことを示す。それ以外の評価項目では、評価が高いほど、肯定的であることを意味する。本実験では、回避を行ってない被験者が 1 人（1 回目）確認された。しかし、試行を体験し続けることで、6 回目の走行では、きちんと回避を行った。過去に用いた支援方法である、「視覚・eHMI」や「路面標示」の条件では、回避行動を行ってない被験者も多く見られている。このことから、聴覚メッセージを発信することによって歩行者の回避が促せると考えられる。自動運転車の意図の理解における質問において（理解度）、1 回目より 6 回目の評

---

---

価が低いことが確認された。また、大きな違いは見られてないが、不安感をより感じる傾向が見られた。一方で、自動運転車に対する信頼感と安心感の評価は高くなった。本実験のアンケートは、1 から 7 までの範囲で評価されていることから、「聴覚・eHMI」条件は、歩行者の心理要因や理解に肯定的に影響されてない可能性が示唆された。

#### 1.6.2.7. 考察

本実験では、道の駅の単路部を想定して、歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートと歩行者間のコミュニケーションを支援する方法を検証した。本実験では、“すすみます”のメッセージを歩行者に伝える支援方法を選択し、VR 環境上で実装した。過去に調べたテキスト発信や路面標示の支援方法に比べて、回避行動を行った歩行者数が多く見られて、1 名以外は、全員回避したことが確認された。聴覚メッセージを発信することで、歩行者の回避を促すことができると期待される。アンケートを用いた主観評価では、自動運転車の意図における理解と不安感に関してポジティブな印象は得られなかったが、コミュニケーションを体験し続けることで歩行者が自動運転車をより信頼できつつ安心だと感じる可能性が示唆された。しかし、本実験で用いたアンケートが過去の実験で用いたアンケートと異なる評価形式を選択したことから、各項目を直接比較することは難しい。今後の実験では、アンケート内容を統一し、他の実験条件と直接比較できる実験設計が考えられる。

---

---

### 1.6.3. ビデオ視聴を活用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援方法に関する検討

#### 1.6.3.1. 実験目的

1.3.1 節で述べた単路のケースと同じく、道の駅を拠点とした自動運転サービスの展開を想定し、2020年度から、駐車場を対象とした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションのあり方について取り組んできた。自動運転車の接近と歩行者の適切な回避を促せる支援方法を提案するため、本調査では、後ろから接近する自動運転車と遭遇した際の歩行者の印象と、望ましい支援の手がかりについて調べる。具体的には、歩行者が自動運転車の意図を理解でき、適切かつ十分な回避行動を取るために、自動運転車が伝えるべき内容やそれを伝えるモダリティに関する意見を収集した。

#### 1.6.3.2. 実験装置および被験者

慶應義塾大学新川崎 K<sup>2</sup>タウンキャンパス K 棟 104 号室にて実験を実施した。1.6.1 節で記述した VR 装置を用いて、赤来高原の駐車場を実装し、歩行者の後ろから接近してくる自動運転ゴルフカートに気づいて振り向く場面を録画した。ビデオを視聴させるため、ノート型 PC でビデオを操作し、24 インチモニターを用いてビデオを表示した。本実験では、運転免許を有している男子 5 名・女子 4 名が参加した。被験者は、1.6.1 節の単路部におけるコミュニケーション方法の調査の実験にも参加した。

#### 1.6.3.3. 実験タスク

本実験のタスクは、1.6.1 節で記述した実験のタスクと同じであり、被験者にビデオを視聴して頂き、ビデオの交通場面における被験者の意見を収集した。被験者は、歩行者が振り向いて路肩に移動するまでの流れを視聴した後、さらに移動を求められる際にはどこまで移動するか、その際にはどのような案内が与えられた方が良いかにおいて回答した。ビデオの再生や追加移動までのコマ送り操作等は、実験者が実施した。

#### 1.6.3.4. 実験条件および構成

本実験の条件と構成は、1.6.1 節のビデオ視聴実験で実施した内容と同様である。実験条件は、「支援なし」、「視覚・eHMI」、「路面標示」の 3 つを設定し、赤来高原の道の駅の駐車場を模擬した交通場面を対象として実験を実施した。また、1.6.1 節の実験と同じく、青いポータルに向かって前方に歩く歩行者の視点でビデオを再生した。ビデオを視聴している間に、3 つのフェーズ（1・2・

3) においてインタビューを行った (1.6.1.6 節参照)。また、3つのフェーズは全ての実験条件において実施された。

### 1.6.3.5. 実験手続きおよび評価項目

1.6.1.4 節で述べたプロトコルと同じ手続きで実験を実施した。被験者は、各コミュニケーション方法におけるビデオを視聴し、フェーズ毎にアンケートを実施した。順序として、「支援方法なし」におけるビデオを先に再生した。また、表 1-15 を用いたアンケートを使って被験者の意見を収集した。

### 1.6.3.6. 実験結果

#### (1) 自動運転車の意図の理解

フェーズ 1 の質問文から得られた意見を図 1-64 に示す。被験者は、後ろから近づいてくる自動運転車と対面した際の歩行者の視線から、停止している自動運転車がどのような意図を持っているかについて回答した。「支援方法なし」条件においては、“わからない”や“ただ止まっている”の意見が得られた反面、「視覚・eHMI」と「路面標示」条件では、自動運転車の意図が完全に把握できないような意見はなかった。「視覚・eHMI」では、eHMIが“すすみます”のメッセージを発信したことから、多くの被験者は、自動運転車が進みたがると回答した。「路面標示」条件では、表示のおかげで、路面に引かれている線と関わる意見が得られた。全体的な傾向として、主体が自動運転車である意見 (例：進みたい) が得られた。

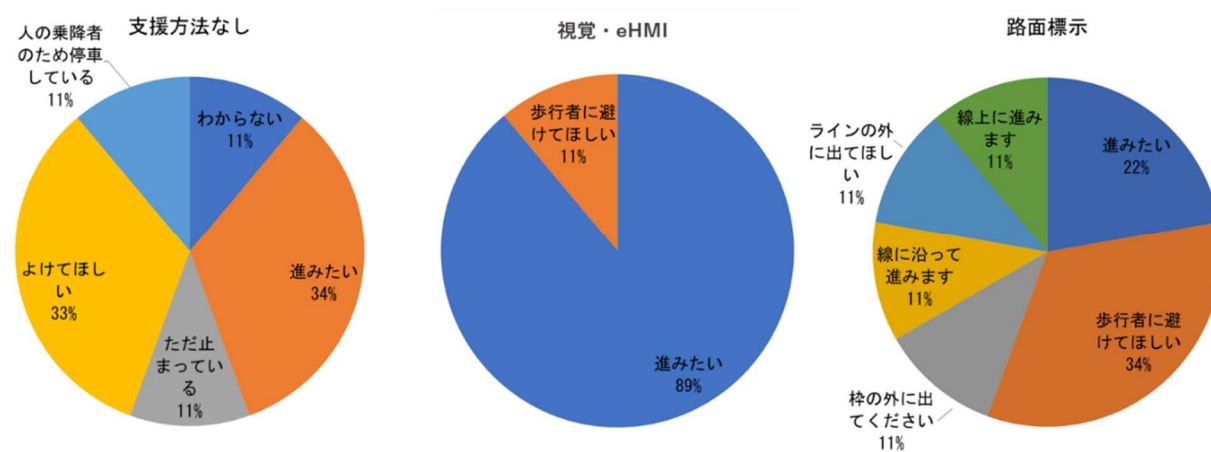


図 1-64 各 eHMI における横断開始タイミング別割合

#### (2) 歩行者の回避を促す方法

フェーズ 2 の質問文を用いて、歩行者の回避を促す方法について調べた。得られた結果を表 1-20 に示す。「支援なし」の条件では、視覚・eHMI が発信す

るメッセージにおいて多様な意見が提案された。全ての条件において、“道を譲ってください”と“回避してください（避けてください）”が最も多く提案された。さらに、多くの被験者から、聴覚による案内が求められた。この結果から、視覚と聴覚両方の刺激を用いた案内が、歩行者の適切な回避を促せる可能性が示唆された。

表 1-20 フェーズ 2 の意見まとめ

実験条件	モダリティ	案内内容・詳細
支援なし	視覚・eHMI	道を譲ってください、危険です、回避してください、自動運転中、通ります、避けてください
	聴覚・eHMI	道を譲ってください、歩道に避けてください、進みます
	その他	ランプの点灯、ランプの点滅、クラクション
視覚・eHMI	視覚・eHMI	すすみます（色の入れ替え）
	聴覚・eHMI	離れてください、危険です、危険ですので避けてください、もう少し避けてください、すすみます、避けてください
	その他	ランプの点滅（赤・黄色）、ビープ音、必要なし
路面標示	視覚・eHMI	回避してください、前進できません、すすみます（点滅）
	聴覚・eHMI	回避してください、回避してくださいすすみます、危険です、前進できません、危険ですので避けてください、すすみます、歩道まで避けてください
	その他	ランプの点滅（青）

### (3) 回避が不十分である際のさらなる回避を促す方法

歩行者の回避が不十分だった際、自動運転車が運行を再開できる距離をあけるため考えられる追加の案内方法を調べた。フェーズ 3 の質問文を用いて被験者から得られた意見を表 1-21 に示す。フェーズ 2 の結果と同様に、全ての条件において“回避してください”や“避けてください”を入れた案内が多く提案された。十分な回避を促すためには、“もう少し”や“少し”を文頭に付けた案内が望ましいと考えられる。

表 1-21 フェーズ 3 の意見まとめ

実験条件	モダリティ	案内内容・詳細
支援なし	視覚・eHMI	回避してください、自動運転中、通りますからもう少し避けてください（表示の切り替え）
	聴覚・eHMI	回避してください、すすみます、避けてください、○m以上離れてください、もう少し距離が必要です、もう少し避けてください
	その他	ランプ点滅（赤・黄色）、クラクション、ブープ音、目に見えるラインでどこまで離れた方が良いかを示す方法
視覚・eHMI	視覚・eHMI	回避してください、すすみます（白・黒）
	聴覚・eHMI	回避してください、○m以上離れてください、もう少し避けてください、少し回避してください
	その他	ランプの点滅（赤・黄色）、ブープ音、必要なし
路面標示	視覚・eHMI	回避してください、離れてください（赤・黄）、自動運転中
	聴覚・eHMI	回避してください、○m以上離れてください、もう少し避けてください、少し回避してください、すすみます
	その他	ランプの点滅（赤・黄）、ブープ音（音量高め）

### 1.6.3.7. 考察

本実験では、道の駅を拠点とした駐車場等で生じる可能性のある自動運転車と歩行者の間のコミュニケーションを支援する方法を提案するため、歩行者の視点から自動運転車とインタラクションする場面をシミュレーションし、そのビデオを視聴させる実験を実施した。ビデオ視聴後得られた意見をまとめた結果、後方から接近した自動運転車と対面した際に、テキストメッセージを発信する方法と路面に走行ルートを表す方法も歩行者が自動運転車の意図を理解させるには効果的である可能性が示された。また、歩行者を路肩に回避させるには、聴覚による案内とテキストを提示する eHMI についても効果が期待される。視覚・聴覚ともに最も多く意見が得られたのは、“回避してください”で

---

---

あった。さらに、回避が不十分である際には、“もう少し”等の副詞を付与した案内によって、自動運転車の運行を再開できる程度に歩行者の回避が促せると考えられる。このことから、自動運転車がこれから取りたい行動を示すより、歩行者が取るべき行動について案内した方が歩行者の適切な回避を促せると期待できる。



---

---

#### 1.6.4. 「視覚・eHMI」「聴覚・eHMI」「路面標示」を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討

##### 1.6.4.1. 実験目的および概要

1.6.3 節に続いて、道の駅の駐車場を対象とした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションについて取り組んだ。本実験では、駐車場において、自動運転車が歩行者の後ろから接近した場合、歩行者の意思決定と行為実行を円滑に促せる支援方法について調べる。1.6.3 節の結果では、自動運転車から歩行者に聴覚メッセージを発信することで、円滑かつ安心なコミュニケーションが取れる可能性が示唆された。このことから、1.6.3 節と同じく、道の駅に導入されている低速走行自動運転ゴルフカートを想定して、路面標示、視覚・eHMI、聴覚・eHMI の 3 つのコミュニケーション支援方法を検討する。過去の実験でテキストを発信する eHMI と路面標示の結果が得られていることから、本実験では、VR 機器を用いて聴覚メッセージを発信する支援方法のみを実装した。

##### 1.6.4.2. 実験環境および実験装置

本実験は、慶應義塾大学新川崎 K<sup>2</sup> タウンキャンパス K 棟 104 号室で実施した。VR 機器を用いて道の駅の赤来高原の駐車場を VR 環境上で模擬した画面を図 1-65 に示す。詳細には、駐車場内を歩行する被験者の後方から、低速で走行する自動運転ゴルフカートが接近してくるよう設定した。1.6.2 節で述べた内容と同じく、被験者との距離が一定未満になったら、自動運転ゴルフカートはクラクションを鳴らして、被験者に後続してくるゴルフカートの存在を気づかせた。ゴルフカートは、被験者が回避するまで停止したまま待機した。被験者の回避が完了したら、ゴルフカートは走行を再開した。



図 1-65 VR 環境上で実装した赤来高原の駐車場

#### 1.6.4.3. 実験条件および実験タスク

本 VR 実験は、1.6.2 節で記述した単路での実験と一部を共通化しており、実験条件と実験タスクは同様である。自動運転ゴルフカートは、“道をあげてください”と聴覚メッセージを流すことで、歩行者の回避を依頼した。さらに、歩行者の回避が不十分だった場合、“もう少し避けてください”と追加の聴覚メッセージを提示した。

#### 1.6.4.4. 実験の流れおよび被験者

最初に VR 空間とコントローラの操作に慣れつつ回避の感覚を覚えさせるために後ろから接近してくる自動運転オーナーカーを対象として2回の練習試行を実施した。本実験の対象となるゴルフカート、赤来高原の駐車場、コミュニケーション支援方法に対する経験によって生じる学習効果を抑制するため、練習試行は道の駅芦北でこぼんエリアを再現した交通場面を用意した。また、練習試行では、支援方法は実施されなかった。3つの練習試行を経験してから、本試行を実施した。被験者は、1回目と2回目の本試行では、同じ実験条件を違う道路環境で経験した。3回目から5回目までは、二つの道路環境において「支援方法なし」、「視覚・eHMI」、「路面標示」をランダムに経験した。その後、6回目の試行では、1回目に経験した道路環境において「聴覚・eHMI」条件を体験した。本実験は、駐車場でのコミュニケーション支援方法に着目したことから、1回目の試行では、駐車場での「聴覚・eHMI」条件を経験させた。被験者の性別と年齢は表 1-22 に示すものであった。

表 1-22 「聴覚・eHMI」条件の被験者の年齢構成等の詳細

実験条件	性別	年齢	人数
聴覚・eHMI	男性	20-57歳、平均 38.75歳	8
	女性	20-58歳、平均 40.88歳	9

#### 1.6.4.5. 評価項目

本実験では、「聴覚・eHMI」による歩行者の回避有無を計測した。また、被験者には、各試行終了後に VR 空間に主観評価アンケートが表示され、各項目について7段階のスケールで口頭にて回答してもらった。アンケートの内容は、1.3.1 節で述べた実験のアンケートと同様であり、自動運転者の意図の理解における効果、自動運転車への信頼感、自動運転車への不安感、自動運転車への安心感について調べた。

#### 1.6.4.6. 実験結果

道の駅の駐車場でのコミュニケーション支援方法を初めて経験した際の心理面を把握するために、1.6.2 節と同じく、1 回目と 6 回目の本試行でのデータを分析した。すなわち、3 回目から 5 回目の本試行のデータは評価の対象として含めてない。1・6 回目の本試行後のアンケートで得られた各評価項目の平均と標準偏差（括弧）を表 1-23 に示す。

表 1-23 駐車場エリアにおける「聴覚・eHMI」条件でのアンケート評価

試行	理解度	信頼感	不安感	安心感
1 回目	1.5 (0.53)	3 (1.07)	3.38 (1.51)	4.25 (0.46)
6 回目	1.63 (0.74)	3.75 (0.88)	2.25 (0.89)	4.25 (0.46)

不安感の評価では、数値が高いほど、歩行者は自動運転車に対して不安を感じたことを示す。それ以外の評価項目では、評価が高いほど、肯定的であることを意味する。本実験では、回避を行ってない被験者が見られなかった。過去の実験で用いた支援方法（視覚・eHMI、路面標示）では回避行動を行ってない被験者も確認されたことから、聴覚メッセージを発信することによる歩行者の回避の効果があると考えられる。各アンケート評価項目の平均と標準偏差を確認した結果、安心感以外は、1 回目と 6 回目の試行後の評価の違いが見られた。1 回目の試行と比べて、6 回目の試行後の評価では、自動運転車の意図を理解するためにより効果的（理解度）であったと回答した。しかし、被験者は、本項目に対する評価がそもそも低いことから（1 から 7 まで評価）、メッセージ内容等の修正が考えられる。信頼感の評価も同じく、6 回目の評価が高くなった

---

---

にも関わらず、評価が 4 未満であることから、「聴覚・eHMI」はあまり信頼されてないことがわかる。不安感については、1 回目と比べて 6 回目の試行後に多少評価が肯定的に変わったことがわかる。歩行者の安心感は、最初から評価が中立であり、最後の評価と違いが見られなかった。

#### 1.6.4.7. 考察

本実験では、駐車場において、歩行者の後ろから接近してくる自動運転車とのコミュニケーションを支援する方法を VR 環境で実装し、歩行者に聴覚メッセージを発信することで歩行者の回避行動を促せる効果が示唆された。本実験の結果では、歩行者のポジティブな印象を引き出すには効果が限られているが、自動運転車とのコミュニケーションを体験し続けることによって、「聴覚・eHMI」条件における評価がよりポジティブになる傾向が確認された。このことから、道の駅を拠点とした駐車場エリアにおいて、持続的な歩車間コミュニケーションに聴覚の案内を与えることで効果が確認される可能性が示唆された。一方で、1.6.2.7 節で述べた通りに、本実験では、過去の実験で用いたアンケートと異なる評価項目を用いたことから、直接比較が難しい。今後の実験では、アンケート内容を統一し、他の実験条件と直接比較できる実験設計が考えられる。

---

---

### 1.6.5. 視覚と聴覚の eHMI を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーション支援に関する検討

#### 1.6.5.1. 実施目的

道の駅を拠点とした自動運転サービスの展開を想定し、2020年度から、単路を対象とした自動運転車と交通参加者のコミュニケーションのあり方について取り組んできた（1.6.1節，1.6.3節参照）。これまでの実験は、直進している歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートと歩行者の間のコミュニケーションを支援する方法を検討してきた。具体的には、自動運転ゴルフカートにおける知識を有していない歩行者が自動運転ゴルフカートを初めて見た場合、歩行者が自動運転ゴルフカートの意図を正しく理解させるためのコミュニケーションの手がかりについて調査した。

過去の実験から、路面標示も歩行者の回避を促す効果のあるコミュニケーション支援方法であることが観測された。しかし、自動運転車両そのものの挙動に対する理解を促すには十分ではなく、歩行者のポジティブな印象を導けなかった。このことから、本実験では、歩行者の視覚と聴覚に刺激を与える eHMI を実装し、二つの実施方法と eHMI が発信するメッセージの内容が自動運転ゴルフカートに対する歩行者の認識に与える影響を調査した。

#### 1.6.5.2. 実験装置

1.6.2.2節に記述した内容と同様の VR 仕様の実験装置を用いて、慶應義塾大学矢上キャンパス 14 棟 B203 号室および 24 棟 609 号室にて実験を実施した。

#### 1.6.5.3. 実験タスクおよび条件

図 1-66 に VR 上に再現した道路環境を示す（1.6.2.2節で用いた実験環境と同様）。実験環境と実験タスクは、2021年度に実施した iv の実験と基本的に同一である。2021年度に実施した実験では、路面標示・路面投影・テキストメッセージを発信する eHMI をコミュニケーション支援方法として用いた。本実験では、無人の自動運転ゴルフカートを実装し、テキストメッセージを発信する視覚・eHMI と聴覚メッセージを発信する聴覚・eHMI を設定した。さらに、歩行者の移動を促すため、“すすみます”と“道を開けてください”の2つのメッセージを設定した。図 1-67 は、本実験の条件を示す。本実験では、eHMI のみをコミュニケーション支援方法として考慮していることから、支援方法を提示しない条件を「eHMI なし」条件と表記する。



図 1-66 VR 環境上で実装した道の駅の奥永源寺の単路



図 1-67 コミュニケーション支援方法

#### 1.6.5.4. 被験者

被験者の性別や年齢を表 1-24 に、実験因子となるコミュニケーション支援方法に対する各被験者群の人数を表 1-25 にそれぞれ示す。被験者は運転免許を所有する健常な一般ドライバーであり、年齢および性別に基づいて調整した。

表 1-24 被験者の年齢構成等の詳細

性別	年齢	人数
男性	21-59 歳、平均 40.2 歳	20
女性	20-57 歳、平均 41.1 歳	25

表 1-25 実験因子に基づく 5 つの被験者群

コミュニケーション支援方法	人数
eHMI なし	9
視覚・eHMI“すすみます”	7
視覚・eHMI“道を開けてください”	11
聴覚・eHMI“すすみます”	9
聴覚・eHMI“道を開けてください”	9

#### 1.6.5.5. 実験の流れ

最初に VR 空間とコントローラの操作に慣れつつ回避の感覚を覚えさせるために後ろから接近してくる自動運転オーナーカーを対象として3回の練習試行を実施した。本実験の対象となるゴルフカート、奥永源寺の単路、コミュニケーション支援方法に対する経験によって生じる学習効果を抑制するため、練習試行は道の駅芦北でこぼんエリアを再現した交通場面を用意した。また、練習試行では、支援方法は実施されなかった。3つの練習試行を経験してから、表 1-26 実験の流れに基づいて実験を実施した。被験者には、本試行 1 で体験させて条件を最後の本試行 6 で再度体験させた。本試行 2 から 5 までは、本試行 1 で体験した条件ではない他の実験条件をランダムイズして体験させた。

表 1-26 実験の流れ

順番	内容	所要時間
1	フェイスシート・同意書作成	10 分
2	練習 1	3 分
3	練習 2	3 分
4	練習 3	3 分
5	本試行 1	5 分
6	本試行 2	5 分
7	本試行 3	5 分
8	本試行 4	5 分
9	本試行 5	5 分
10	本試行 6 (本試行 1 と同じ条件)	5 分

#### 1.6.5.6. 評価項目

被験者には、年齢、性別、視力、普段の歩行の特性、運転頻度等について事前にアンケート調査を行った。各試行終了後に VR 空間に主観評価アンケートが表示され、被験者に回答させた。本試行を伴う回答にするために理由も合わせて回答させた。

後方から接近してくる自動運転ゴルフカートに対し、歩行者が早く回避してくれるコミュニケーション支援方法を調査することから、アンケート調査では、自動運転ゴルフカートに対する被験者の信頼感と不安感について調査した。

### 1.6.5.7. 実験結果

後方から接近してくる自動運転ゴルフカートに歩行者が気づいて、その後、歩行者が行った行動を分類した。その結果を図 1-68 に示す。コミュニケーション支援方法を初めて経験した際の心理面を把握することから、本試行 2 から 5 までのデータは評価の対象として含めていない。

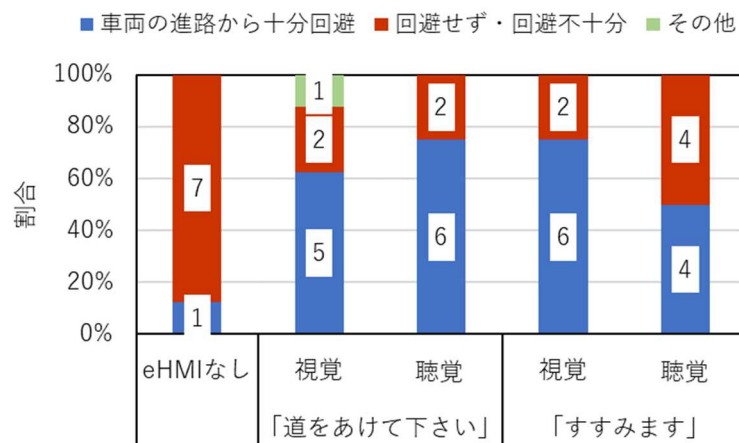


図 1-68 後方から接近する自動運転ゴルフカートに対する歩行者の回避行動

本実験では、その他の歩行者以外の参加者は、後ろに止まっている自動運転車両に振り向いてから行動を行ったことが確認された。ここで、多くの被験者は自動運転ゴルフカートが電磁誘導線上から外れて自動運転できないことを知らない状況であったことが考えられる。詳細には、回避を行ってない・回避を行ったが不十分だったケースは、「eHMI なし」の条件で最も多く見られた。気づいて振り向くと自動運転ゴルフカートが停止状態であるため、何を訴えているのかわからなかった可能性がある。

メッセージとしては、“すすみます” だけでは回避行動を取るまでに至らないことが観測され、“道をあけて下さい” のような具体的な指示が、歩行者にわかりやすく伝わっている可能性がある。聴覚と視覚の 2 つのモダリティを用いたが、「聴覚・eHMI」回避を促した反面、聞き漏らすと要求をすぐ認識できない懸念がある。しかし、迅速な回避行動を促せる可能性がある。また、テキストを発信する視覚・eHMI は、常に表示されているが、経験がなく、メッセージをすぐに認識できない可能性がある。しかし、自動運転車がメッセージを提示することで、後でも確認できることがメリットとして考えられる。

後方から接近してくる自動運転ゴルフカートに歩行者が対面してから少しでも回避行動に至った歩行者を対象に、対面から回避行動の開始までに要した時間遅れをまとめた。その結果を図 1-69 に示す。



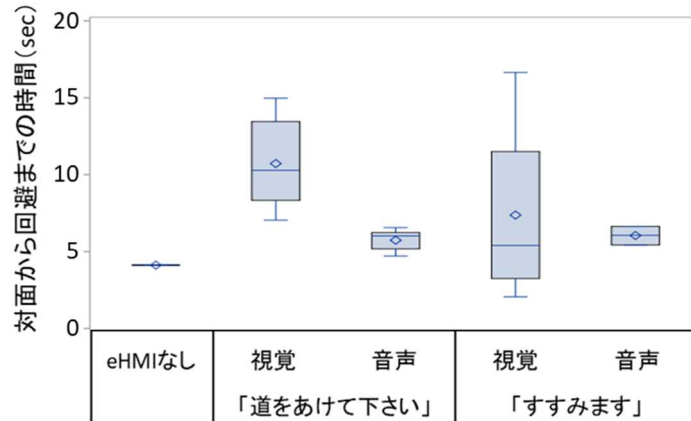


図 1-69 対面から回避開始までの遅れ時間

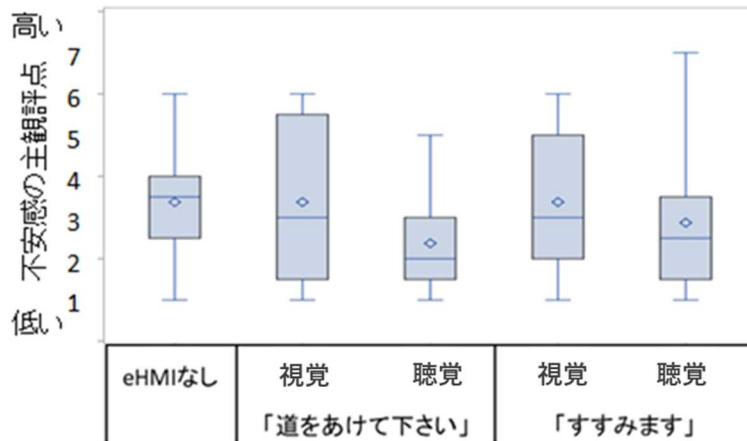


図 1-70 自動運転ゴルフカートに対する被験者の不安感

また1回目の試行直後において被験者が自動運転ゴルフカートに対して抱いた不安感の程度を図 1-70 に示す。数値が大きいほど、歩行者は不安を感じたことを意味する。「聴覚・eHMI」の条件では、初見での個人差が小さく、不安感も低いことが確認された。しかし、実験後に、行動を強制されていると感じたと報告があったことから、文言に留意する必要がある。続いて「視覚・eHMI」では、「聴覚・eHMI」と比べてより不安を感じると評価された。この結果は、初見のデータを用いたことから、今まで経験したことのないモダリティに対する不安が反映されている可能性が高い。聴覚での案内は、普段の生活にもよく用いられているが、自動車が視覚的なパネル表示を介してメッセージを発信することは、あまりされてない。そのため「聴覚・eHMI」より不安感が高く評価された可能性がある。

---

---

#### 1.6.5.8. 考察

本 VR 実験では、狭路でのコミュニケーション場面において、歩行者の後方から接近してくる自動運転ゴルフカートと歩行者の間の適切なコミュニケーション支援方法を検討した。4種類のコミュニケーション支援方法を自動運転ゴルフカートに装備して体験させた結果、歩行者の初見にて最もポジティブな印象を与える方法は、自動運転ゴルフカートが“道を開けてください”を発信した場合であった。“道を開けてください”は、歩行者の回避を促すために設定されたメッセージである。一方で、“すすみます”は、自動運転車両の意図に対する歩行者の適切な理解を促すには限界があることが確認された。実施方法としては、聴覚メッセージを用いた方法は、馴染みはあるが、行動を強制されている印象を与える可能性があり、視覚刺激を用いた方法は不慣れで不安を感じさせるが、時間をかけて自動運転車両に対する意図を考えられることが期待される。このことから、“道をあけて下さい”のメッセージを用いた支援方法が、初見でも、他の条件に比べても歩行者にポジティブな印象を与えられる可能性が示唆された。

---

---

#### 1.6.5.9. 本節のまとめ

道の駅等を拠点とした自動運転サービスで想定されるコミュニケーション場面である単路部での歩車間コミュニケーションを支援する方法が必要とされている。本節では、前方に向けて歩いている歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートとの接近・回避のコミュニケーションユースケースに着目し、円滑なコミュニケーション支援方法を提案し検証した。VR環境で奥永源寺の単路部をシミュレーションして得られた結果を下記にまとめる。

- ビデオ視聴実験の結果、歩行者が自分の後ろに止まっている自動運転車両と遭遇した際、支援方法（視覚・eHMI、路面標示）の提示が自動運転車両の意図における歩行者の把握を導けると考えられる。また、歩行者の回避を促すための方法として、歩行者に向けて聴覚・視覚メッセージを発信する支援方法が最も多く提案され、その中でも“回避してください”のメッセージが多く提案された。歩行者が回避したが、それが十分ではない場合、“もっと”や具体的な数値を入れた聴覚での案内が必要だと提案された。
- 自動運転車両が“すすみます”の聴覚メッセージを発信する支援方法を模倣し、VR実験を行った結果、聴覚メッセージの発信は、過去の実験で用いてテキストメッセージの発信や路面標示の支援方法より歩行者の回避を促すために効果があると考えられる。また、自動運転車両とのコミュニケーションを続けることが、自動運転車両に対する歩行者の心理状態の変化にポジティブな影響する可能性がある。
- 聴覚と視覚の二つのモダリティと、自動運転車両の行為を表すメッセージと歩行者に行為を促すメッセージの二つの類をVR実験で実装した結果、聴覚・eHMIは、歩行者の迅速な回避を促すことと、視覚・eHMIは、時間をかけて自動運転車両の意図を考えられるメリットがあると期待される。また、“道をあけてください”等、行動を指示するメッセージの方が、初見においても、自動運転車両に対する歩行者のポジティブな印象適切な回避を促せるメッセージであると考えられる。

---

---

### 1.6.6. 道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験に基づいた eHMI 等の効果検証・提案

#### 1.6.6.1. 背景

これまで eHMI を含めた自動運転サービスカーと周囲交通参加者との安全・安心で円滑なコミュニケーション方法の設計推奨等の抽出を目的として、実験室や構内道路、試験走路などの実験環境を対象に検討を進めてきた。これらの実験では、検討対象外の要因の抑制や外乱の影響の低減などが図られ、コミュニケーション方法の設計要素に対する歩行者や後続ドライバーの解釈、その後の判断、行動への影響などを精度よく抽出するための措置であった。しかしながら、実際の一般道や駐車エリアなど多様な交通参加者が存在する状況下において、統制された実験環境・状況下にて得られたコミュニケーション方法の設計推奨に関する成果や知見がどのように影響されるのか、実験室や構内道路、試験走路などでの実験検討では考慮されない、道路環境や交通状況、多様な交通参加者の存在や様々な交通文脈などによって、想定されるコミュニケーション効果が実環境においても得られるのかを検証する必要がある。

そこで本研究では、一般道を対象とした実環境における自動運転サービスカーと周囲交通参加者のコミュニケーション方法に関する実証実験を実施し、コミュニケーションケースのうち、横断ケースと追越ケースを対象として、これまでに抽出された設計推奨等の要素を確認することを目的とした。詳細には、横断ケースにおける非効率なコミュニケーションへの eHMI による改善効果、および追越ケースにおける不安全なコミュニケーションへの eHMI による改善効果に焦点を当てた。詳細には、横断ケースを対象にした eHMI によるコミュニケーション支援による非効率な交通場面の低減、接近・回避ケースを対象にした不安全あるいは非効率な交通場面の低減とした。

#### 1.6.6.2. 実証実験の対象地および期間

島根県飯南町道の駅赤来高原を拠点とした地域ならびに福岡県みやま市山川地区を拠点とした地域において実証実験を実施した。赤来高原では、2022年6月25日から7月5日（6月29日、7月1日、7月3日を除く）の期間を対象に図 1-71 に示されるルート（周回ルートを対象、ただし、①から②へのルートを変更）を使用して実施した。みやま市では、2022年7月15日から7月23日の期間を対象に図 1-72 に示されるルートを使用して実施した。運行ダイヤは図 1-73 および図 1-74 に示される、現地で運行されている自動運転サービスカーの運行スケジュールに基づき、運行時間の合間に、実験車両として制作済みの eHMI を搭載した自動運転サービスカー（以後、実験車両）を走行させた。

---

---



図 1-71 赤来高原の運行ルート (<https://www.ad-akagikogen.com/>)



図 1-72 みやま市の運行ルート

(<https://www.city.miyama.lg.jp/s006/kurashi/140/jidouunten.html>)

平日ダイヤ【月・火・木】										休日ダイヤ【土・日・祝】							
停留所名	第1便	第2便	第3便	第4便	第5便	第6便	第7便	第8便	第9便	第10便	バス停	第1便	第2便	第3便	第4便	第5便	第6便
赤来高原	10:15	10:45	11:00	11:15	11:42	13:05					11:00	11:30	13:00	13:30	14:00	14:30	
坂舞館小学校	10:17	10:47	11:02	11:17	11:45	13:07					11:02	11:32	13:02	13:32	14:02	14:32	
農林会館	10:19	10:49	11:04	11:19	11:47	13:10					11:04	11:34	13:04	13:34	14:04	14:34	
赤来保育所	10:21	10:51	11:06	11:21	11:48	13:12					11:06	11:36	13:06	13:36	14:06	14:36	
豊比須橋	10:22	10:52	11:07	11:22	11:49	13:13					11:07	11:37	13:07	13:37	14:07	14:37	
下市下	10:23	10:53	11:08	11:23	11:51	13:16					11:08	11:38	13:08	13:38	14:08	14:38	
つたスター前	10:24	10:54	11:09	11:24	11:52	13:17					11:09	11:39	13:09	13:39	14:09	14:39	
町営バス車庫	10:25	10:55	11:10	11:25	11:53	13:18					11:10	11:40	13:10	13:40	14:10	14:40	
Aコープ	10:56	11:11	11:26			13:40	13:55	14:10			11:11	11:41	13:11	13:41	14:11	14:41	
赤来市	10:57	11:12	11:27			13:40	13:55	14:10			11:11	11:41	13:11	13:41	14:11	14:41	
赤来市	10:26		11:54			13:19	13:41	13:56	14:11	14:44	11:13	11:43	13:13	13:43	14:13	14:43	
衣掛田地	10:28		11:56			13:21	13:43	13:58	14:13	14:46	11:14	11:44	13:14	13:44	14:14	14:44	
坂南自動車庫	10:29		11:57			13:22	13:44	13:59	14:14	14:47	11:15	11:45	13:15	13:45	14:15	14:45	
上市上	10:30		11:58			13:23	13:45	14:00	14:15	14:48	11:16	11:46	13:16	13:46	14:16	14:46	
赤来小学校前	10:31		11:59			13:24	13:46	14:01	14:16	14:49	11:17	11:47	13:17	13:47	14:17	14:47	
福島駅前	10:32		12:00			13:25	13:47	14:02	14:17	14:50	11:19	11:49	13:19	13:49	14:19	14:49	
Aコープ	10:34		12:01			13:26	13:48	14:03	14:18	14:51	11:20	11:50	13:20	13:50	14:20	14:50	
赤来駅	10:35		12:03			13:28	13:50	14:05	14:20	14:53	11:23	11:53	13:23	13:53	14:23	14:53	
道の駅赤来高原	10:38	11:00	11:15			13:30				14:55							

図 1-73 赤来高原の運行ダイヤ (<https://www.ad-akagikogen.com/>)

自動運転車 運行ダイヤ		山川線(Aコープ山川店～ルフラン)					
●乗客定員/4名		ルフラン	第1便	第2便	第3便	第4便	第5便
●速度/12km/h(自動運転時)		平家桜入口	8:45	9:56	11:15	13:30	15:00
※予約優先のため、空席があっても、乗車できない場合があります。		マテゴ	8:48	9:59	11:18	13:33	15:03
●運行日 月曜日～金曜日		原	8:50	10:01	11:20	13:35	15:05
※土曜日、日曜日及び年末年始(12月29日～1月3日)、ゴールデンウィーク(5月3日～5日)、お盆期間(8月13日～15日)は運休です。		桜舞館小学校	8:56	10:07	11:26	13:41	15:11
●7月～9月(夏季)の運行		山川市民センター	9:00	10:11	11:30	13:45	15:15
●車両にエアコンがないため、第3便、第4便は“運行しません”。		市役所山川支所	9:04	10:15	11:34	13:49	15:19
●雨天時は、サイドのビニールシートを締め切りするため、全ての便を運休(運行しない)とする場合があります。		山川げんきかん	9:08	10:19	11:38	13:53	15:23
●料金表		Aコープ山川店前	9:09	10:20	11:39	13:54	15:24
		ルフラン	9:11	10:22	11:41	13:56	15:26
		Aコープ山川店前	第1便	第2便	第3便	第4便	第5便
		山川げんきかん	9:15	10:30	11:46	14:20	15:29
		市役所山川支所	9:17	10:32	11:48	14:22	15:31
		山川市民センター	9:18	10:33	11:49	14:23	15:32
		桜舞館小学校	9:22	10:37	11:53	14:27	15:36
		原	9:26	10:41	11:57	14:31	15:40
		マテゴ	9:30	10:45	12:01	14:35	15:44
		平家桜入口	9:36	10:51	12:07	14:41	15:50
		ルフラン	9:38	10:53	12:09	14:43	15:52
		ルフラン	9:41	10:56	12:12	14:46	15:55

図 1-74 みやま市の運行ダイヤ

(<https://www.city.miyama.lg.jp/s006/kurashi/140/jidouunten.html>)

赤来高原の運行ルートは生活道路（図 1-75 参照）や一般道路（図 1-76 参照）、駐車場（図 1-77 参照）などから構成されていたが、運行ルートのほとんどが生活道路であり、片側一車線に満たない区間が多く存在している道路環境であった。また車両の通行は少なく、車両が通行する場合でも低速で走行している場合がほとんどであった。



図 1-75 赤来高原の運行ルート上の生活道路



図 1-76 赤来高原の運行ルート上の一般道路



図 1-77 赤来高原の運行ルート上の駐車場

一方、みやま市山川地区の運行ルートは一般国道（図 1-78 参照）や農道（図 1-79 参照）、一般道路（図 1-80 参照）、駐車場（図 1-81 図 1-77 参照）などから構成されていたが、運行ルートのほとんどが一般国道であり、片側一車線の道路環境に、大型車の通行があり、地元の自動運転サービスカーも含めて実験車両との間に速度差が存在する状況であり、実験車両の後方から接近した後続車が実験車両を追い越して行く状況が多く発生する状況であった。



図 1-78 みやま市の運行ルート上の一般国道



図 1-79 みやま市の運行ルート上の農道



図 1-80 みやま市の運行ルート上の一般道路



図 1-81 みやま市の運行ルート上の駐車場

#### 1.6.6.3. 実証実験で用いた車両および eHMI の仕様

既に eHMI を搭載した製作済み実験車両を使用し、一般道を走行するための保安部品等の基準緩和を申請したほか、各地域の運行ルートを走行する上で必要な許可手続きを行った。



図 1-82 実験車両の前方用 eHMI



図 1-83 実験車両の後方用 eHMI

実証実験において検証対象とした eHMI のメッセージは、横断ケースを対象にした前方用 eHMI (図 1-82 参照) を「とまります」および「お先にどうぞ」の 2 種類、接近・回避ケースを対象にした後方用 eHMI (図 1-83 参照) を「追越注意」、「自動運転車/低速走行中」(交互表示) の 2 種類をそれぞれ設定した。

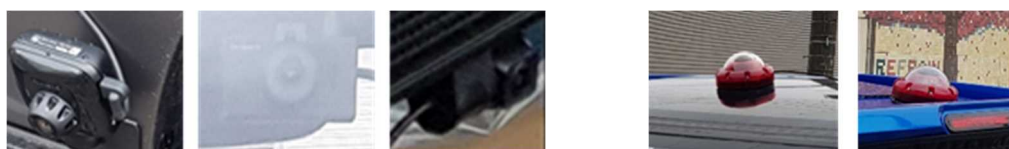
実験車両には、図 1-84 に示されるコミュニケーション観測用ドライブレコ



---

---

ーダを設置した。ドライブレコーダは主として前方用、後方用、側方用（進行方向に対して左方向）にそれぞれ設置した。またみやま市での実証実験では、これらのドライブレコーダに加えて、360度カメラをルーフ上の前方部および後方部にそれぞれ設置した。そのほか、eHMIの点灯状態を記録するカメラや乗務員の身振り等の状況を記録するためのカメラも設置した。



(a) ドライブレコーダ (b) 360度カメラ（みやま市のみ）

図 1-84 コミュニケーション観測用ドライブレコーダ

#### 1.6.6.4. 実証実験の運行体制

実証実験において実験車両には、教員（慶應義塾大学）1名が前列の運転席に乗車、実験スタッフ（学生ほか）1名が後列の乗員席に必ず乗車し、運行中は少なくとも2名が乗車する体制をとった。運転席の教員1名は常に周囲状況の安全監視を行い、必要に応じて緊急停止、左に寄せて停止、停止後の再発進などの運転介入を担当した。後部の乗員席の実験スタッフは主としてeHMIの操作および遭遇したコミュニケーションの記録を担当した。不具合や事故が発生した場合に備えて、速やかに適切な対応が取れるよう、現地実証実験関係者や慶應義塾大学理工学部管財課への連絡体制を確立して準備した。

#### 1.6.6.5. 実証実験の実施手順

現地での実験車両の保管場所にて始業点検等を行い、不具合や問題等の無いことを確認してから、実験車両を手動運転で自動運転開始地点まで移動させた。実証実験期間中の日々の運行状況については、運行終了後の報告として、現地実験担当者が報告内容をまとめて関係者に送付する手続きを行った。赤来高原では、現地で運行中の自動運転サービスカーが運行する日のみを対象に実験車両を走行させた。運行中の安全対策として、他車両（手動運転車）とすれ違う際は安全に配慮してその場で一時停止する手続きを実施した。地域住民の方々が現地で運行中の自動運転サービスカーと実験車両を見分けられるように、実験車両に実証実験中であることを示す前方部と後方部にそれぞれステッカーを貼り付けて明示した。現地では急な天候の変化がしばしば生じることから、豪雨や雷雨、落雷の可能性のある時間帯は現地の自動運転サービスカーの運行者の指示に従い、実験車両の運行を中止した。

---

---

一方、みやま市では現地で運行する自動運転サービスカーが運休となる休日や第3、4便の時間帯も走行許可を頂き、これらの日時にも実験車両を走行させた。ただし、赤来高原と同様に、急な天候の変化が生じた場合、視界が悪くなる5mm以上の降雨のある時間帯は運行を中止した。追越禁止の黄色中央線が敷設された道路区間では、後続車が接近してきたら、実験車両を路肩に寄せて停車し、後続車の通過を促す手続きを行った。

後方用 eHMI のメッセージは常時点灯させた状態での運用であった。具体的には、黄色中央線が敷設されている追越禁止の区間や白色中央線が敷設されている追越のための右側部分はみ出し通行可の区間において、実験車両の後方から後続車の接近が確認できた場合、後続車が実験車両の約50m程度に接近してきた際に、安全運行の観点から、実験車両が左ウインカーもしくはハザードランプを点灯、同時に減速して左側の路肩に寄せて停止する措置を実施した。この手続きにより、後続車は実験車両を追い越して行くことになる。

一方、前方用 eHMI のメッセージは実験車両の前方において横断待ちの歩行者や横断しようとする歩行者を確認したら、進路を譲るための減速を開始し、それと同時に eHMI のメッセージを点灯させる運用であった。前列運転席の教員と後列乗員席の実験スタッフが連携して eHMI のメッセージ点灯の開始タイミングを調整した。eHMI のメッセージは、基本、運行ルートの開始地点から終了地点まで同一のものを使用した。

#### 1.6.6.6. 計測・記録したデータ項目

本実証実験において主として次のようなデータ項目を収集した。コミュニケーションの発生時の記録として、日付、時刻、天候、道路形状（単路、交差部、ト字路、駐車場など）、自動運転車の状況（自動走行中、手動走行中、左折中、停車中など）、コミュニケーション対象者の属性（歩行者、自動車など）、コミュニケーション対象者の状況（横断する、接近・回避する、追越するなど）、事象の補足情報（歩行者が横断をするため、手動で停止したが、歩行者は少し戸惑ってなかなか横断をしなかった、など）、コミュニケーションの不安全・非効率など主観的な補足状況（不安全あり、非効率あり、問題なし）、eHMI のメッセージ内容（お先にどうぞ、追越注意、など）、身振りやアイコンタクトなどの有無などを記録した。

また本実証実験で計測されるドライブレコーダの映像データを、2018年から2020年において実施された中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験（道の駅コスモール大樹[7]、道の駅かみこあに[8]、ひたちおおた[9]、道の駅奥永源寺溪流の里[10]、道の駅芦北でこぼん[11]、道の駅赤

---

---

---

---

来高原[12]、みやま市山川支所[12])で収集されたドライブレコーダの映像データと比較できるよう、映像データの構成等に配慮した。

#### 1.6.6.7. 横断ケースを対象にした交通場面の抽出・分析

横断しようとする歩行者付近あるいは横断待ちの歩行者付近で実験車両が減速を開始して歩行者の手前で停止する交通場面を対象とした。単路区間や交差点付近、駐車場などにおいて実験車両の前方を横断する(横切る)場合などが挙げられる。その際、歩行者が実験車両の方を視認していない事象、歩行者が実験車両を視認したが、その視認行動とその後の横断行動との関係性が判断しづらい事象などについては分析の対象から除外することとした。

#### 1.6.6.8. 追越ケースを対象にした交通場面の抽出・分析

実験車両が単路区間を含めた一般道を自動運転にて運行中に、実験車両の後方から後続車が接近して実験車両を追い越す事象を対象にした。基本的に黄色中央線が敷設されている区間(追越のための右側部分はみ出し通行禁止の区間)や白色中央線が敷設されている区間(追越のための右側部分はみ出し通行可の区間)を対象に、実験車両の後方から後続車が接近する時点から実験車両を追い越して走行車線に戻る時点までを分析対象とした。

#### 1.6.6.9. 観測されたコミュニケーションの分類と分析対象

実証実験の各地域で観測されたコミュニケーション観測数とコミュニケーション対象となった交通参加者の種別を図 1-85 に示す。これらの観測結果は、ドライブレコーダの映像データからコミュニケーション事象の取りこぼしが生じないように、初期的な抽出段階として、実験車両の周囲の特定範囲を通過した交通参加者が存在した場合には、実際に交通参加者と実験車両とのコミュニケーションとして抽出しておき、より詳細な分析を行うか否かの判断が必要となる事象も含めるように作業を実施した。実証実験地域によって道路環境や交通状況の特徴に違いがあるため、観測されたコミュニケーションに関わる交通参加者の種別や件数が大きく異なる結果となった。

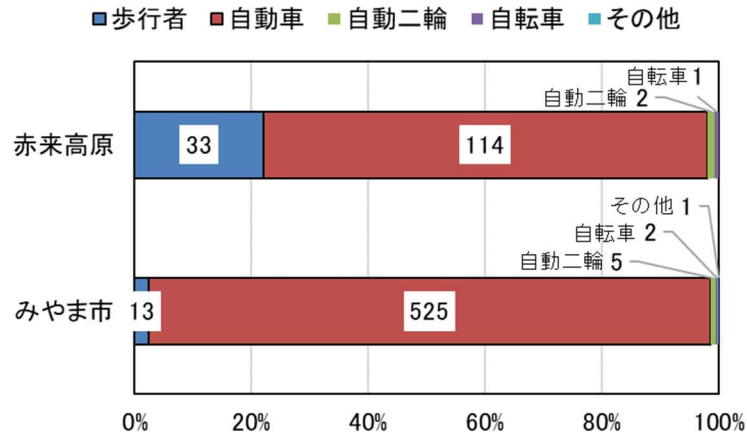


図 1-85 観測されたコミュニケーションに関わる交通参加者の種別

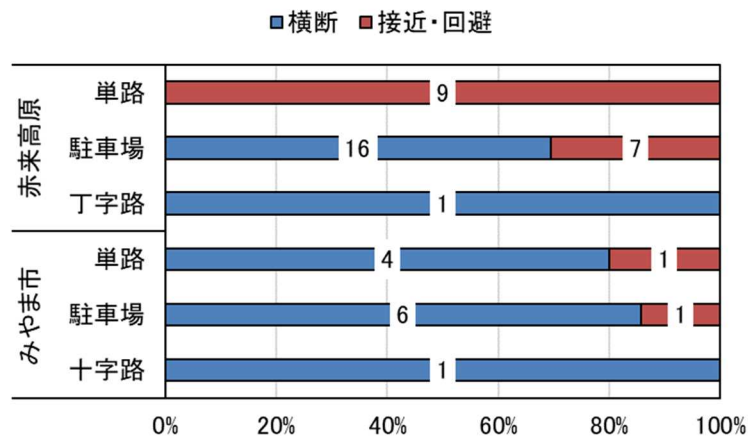


図 1-86 歩行者とのコミュニケーションに関する道路環境の分類

赤来高原とみやま市では、観測されたコミュニケーションの件数に大きな差があるほか、コミュニケーションの対象となる交通参加者の種別も異なる結果となったが、両地域での道路環境や交通状況の特徴の違いを反映した結果であると考えられる。さらに歩行者とのコミュニケーションを対象に、それらのコミュニケーションが発生した道路環境を分類してまとめた結果を図 1-86 に示す。全体の観測件数として、みやま市と比較して、赤来高原では歩行者とのコミュニケーション件数が多く観測されており、赤来高原では駐車場でのコミュニケーションが多く観測されているが、みやま市では赤来高原ほど歩行者とのコミュニケーションの件数は観測されなかった。

赤来高原では、運行ルートのほとんどが生活道路のため、車両交通量が少なく、自動車（他の手動運転車）とのコミュニケーションは生活道路にて観測された追越ケースに該当するものがほとんどであった。また歩行者の横断ケースは、道の駅の駐車場内での観測されたものであり、単路での接近・回避は路肩

の歩行者の側方を通過した際に観測されたものがほとんどであった。

一方、みやま市では、運行ルートのがほとんどが一般国道のため、車両交通量が多く、自動車とのコミュニケーションは一般国道にて観測された追越ケースがほとんどであった。歩行者の横断ケースは、歩道が設置されている区間が多く、接近・回避ケースは少なく、横断ケースがほとんどであった。

#### 1.6.6.10. 横断ケースでの eHMI の有無による歩行者の横断行動への影響

赤来高原およびみやま市の実証実験にて観測された横断ケースのコミュニケーションにおいて、eHMIの有無やeHMIのメッセージによる歩行者の行動の特徴を可能な限り精度高く分析するため、以下の事象については分析対象から除外することとした。

- 歩行者が実験車両を視認せずに実験車両の前方を横断するための行動に移行した事象
- 歩行者が実験車両を視認したものの前方を横断しようとしたのか、躊躇して取り止めたのか、最初から横断する意思がなかったのか、など前後の文脈を考慮しても判断が難しい事象

その結果、eHMIなしの横断ケースは3件、eHMIで「お先にどうぞ」を伝達した横断ケースは6件、eHMIで「とまります」を伝達した横断ケースは7件であった。これらの横断ケースを対象に、実験車両の停止タイミングと歩行者の横断開始タイミングの関係について分析した。その結果を図1-87に示す。

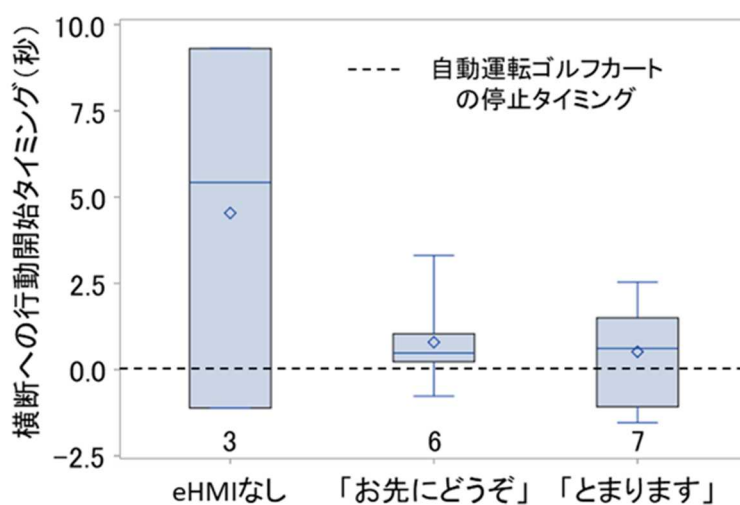


図 1-87 実験車両の停止タイミングと歩行者の横断開始タイミングとの関係

実験車両（自動運転ゴルフカート）の停止タイミングを示す点線は、ちょうど実験車両が停車したタイミングであり、歩行者の横断への行動開始タイミングが負値の場合は実験車両の停止前に行動を開始したことを、正值の場合は実験車両の停止後に行動を開始したことをそれぞれ表している。

eHMI なしの場合には、歩行者が実験車両の停止状態を視認しても横断への行動になかなか移行せず、歩行者によっては 10 秒近くも横断への行動に至らない状況も観測された。一方、eHMI を装備して「お先にどうぞ」や「とまります」を伝達すると、歩行者は実験車両の状態を視認して、実験車両の停止タイミング付近で横断への行動にスムーズに移行している状況が確認された。

#### 1.6.6.11. 追越ケースでの eHMI の有無による後続ドライバーの追越行動への影響

赤来高原およびみやま市の実証実験において観測された追越ケースのコミュニケーションを対象に、eHMI の有無や eHMI のメッセージによる後続ドライバーの運転行動、車両挙動の特徴を比較検討するが、地域による道路環境や交通状況が大きく異なることから、地域ごとに分析を進めることとした。また、実験車両に対して後続車が 2 台以上の車群で接近している交通状況については車群の先頭車のみを分析対象としたほか、対向車の存在により後続車の追越のタイミングや車両挙動が影響されることから、本研究では、対向車の有無を考慮して分析した。

赤来高原を対象に、実験車両を追い越す直前の後続車の車両状態を抽出した。その結果を図 1-88 に示す。前述の通り、赤来高原は、運行ルートのほとんどが幅員の狭い生活道路であり、周囲車両の走行状態は 30km/h 未満と低速走行の状態にあり、追越ケースに関連した観測数は少ない状況であった。

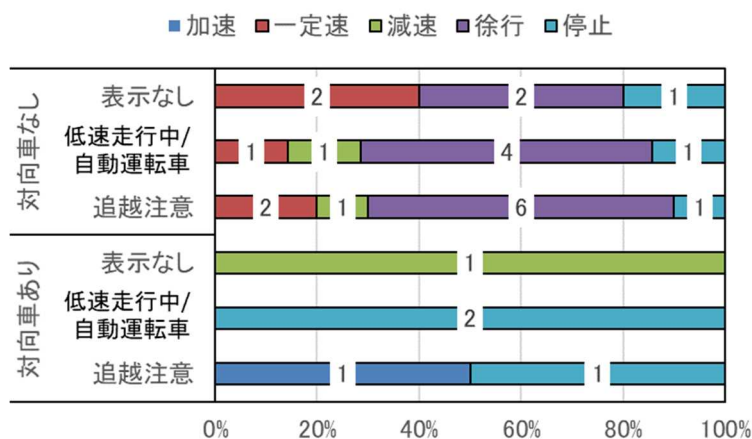


図 1-88 実験車両を追い越す直前の後続車の走行状態（赤来高原）

---

---

観測数が少ないため、統計的な観点を考慮した言及は困難であるが、対向車の接近がない場合、表示なしでは5件の観測数に対して、実験車両を一定速のまま追い越した後続車の事例が2件、実験車両を追い越す前に徐行した後続車の事例が2件、停止した後続車の事例が1件、それぞれ観測された。これに対して、eHMIを装備してメッセージを提示した場合、「低速走行中/自動運転車」（交互表示）の7件の観測数に対して、実験車両を一定速のまま追い越した後続車の事例が1件、実験車両を追い越す前に徐行した後続車の事例が4件、停止した後続車の事例が1件、それぞれ観測された。また「追越注意」の7件の観測数に対しては、実験車両を一定速のまま追い越した後続車の事例が2件、実験車両を追い越す前に減速した後続車の事例が1件、徐行した後続車の事例が6件、停止した後続車の事例が1件、それぞれ観測された。観測数は少ないため、統計的有意性を伴わないが、eHMIを装備してメッセージを提示することで、一定速のまま実験車両を追い越す後続車を抑制し、減速や徐行、あるいは停止の状態から実験車両を追い越すことを後続車に促している可能性が示唆される結果であった。

一方、対向車が存在する場合を対象にすると、表示なしでは実験車両を追い越す前に徐行する後続車の事例が1件のみ観測され、他の状態は観測されなかった。eHMIを装備してメッセージを提示した場合、「低速走行中/自動運転車」（交互表示）では、実験車両を追い越す前に停止した後続車の事例が2件のみ観測され、「追越注意」では、実験車両を追い越す前に停止した後続車が1件、実験車両を追い越す前に加速した後続車が1件、それぞれ観測された。主として対向車の存在により、後続車の進行が制約されている状況であり、eHMIを装備したことによる効果であるかの判断は難しい。その一方で進行が制約されている状況であるにも関わらず、対向車の接近前に実験車両を追い越そうとする後続車が観測されているが、追越ケース全体の観測総数が少なく、eHMIを装備した場合に後続車の不安全な追越と考えられる事象の抑制に効果をもたらしているかどうかを判断するのは観測数を増加させて再度の検討が必要であると考えられる。

同じく、赤来高原を対象に、後続車が実験車両を追い越す直前の実験車両の走行状態を抽出した。その結果を図 1-89 に示す。

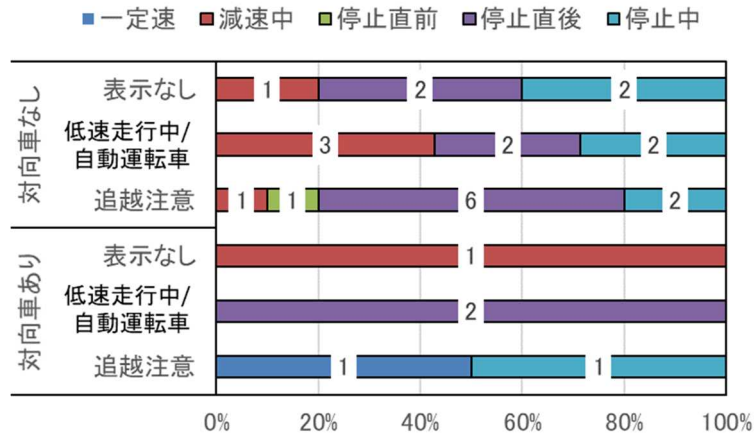


図 1-89 後続車の追越開始時点での実験車両の走行状態（赤来高原）

前述と同様に、観測数が少ないため、統計的な観点を考慮した言及は困難であるが、対向車の接近がない場合、表示なしでは5件の観測数に対して、実験車両が減速中に後続車が追越を開始した事例が1件、停止直前に追越を開始した事例が2件、停止中に追越を開始した事例が2件、それぞれ観測された。これに対して、eHMIを装備してメッセージを提示した場合は、「低速走行中/自動運転車」（交互表示）の提示において実験車両が減速中に追越を開始した事例が3件、停止直後に追越を開始した事例が2件、停止中に追越を開始した事例が2件、それぞれ観測された。また「追越注意」の提示においては、実験車両が減速中に追越を開始した事例が1件、停止直前に追越を開始した事例が1件、停止直後に追越を開始した事例が6件、停止中に開始した事例が2件、それぞれ観測された。十分な観測数ではないため、参考としての結果となるが、eHMIを装備して「追越注意」を掲示する場合は、実験車両が停止していない、まだ減速中の状態における後続車の追越開始を抑制し、ほぼ停止に至った状態で追越を開始することを後続ドライバーに促している可能性が示唆される。

一方、対向車が存在する場合を対象にすると、表示なしでは実験車両が減速中に後続車が追越を開始した事例が1件観測された。これに対して、eHMIを装備してメッセージを提示した場合は、「低速走行中/自動運転車」（交互表示）の提示において実験車両の停止直後に追越を開始した事例が2件、「追越注意」の提示において、実験車両の一定速での走行中に追越を開始した事例が1件、停止中に追越を開始した事例が1件、それぞれ観測された。こちらも十分な観測数ではないため、参考としての結果となるが、eHMIを装備してメッセージを提示した場合には、ある程度の効果は見込まれるものと予想されるが、対向車との関係、対向車の接近状況との関係によって、後続車の追越の行動が影響される可能性が示唆される。



みやま市を対象に、実験車両を追い越す直前の後続車の車両状態を抽出した。その結果を図 1-90 に示す。前述の通り、みやま市は、運行ルートのほとんどが一般国道であり、片側一車線の道路環境に大型車を含んだ一般車両の通行が多く観測され、これら周囲車両と実験車両との間に速度差が存在する交通状況であった。追越ケースに関する観測数については赤来高原と比較して非常に多い状況であった。

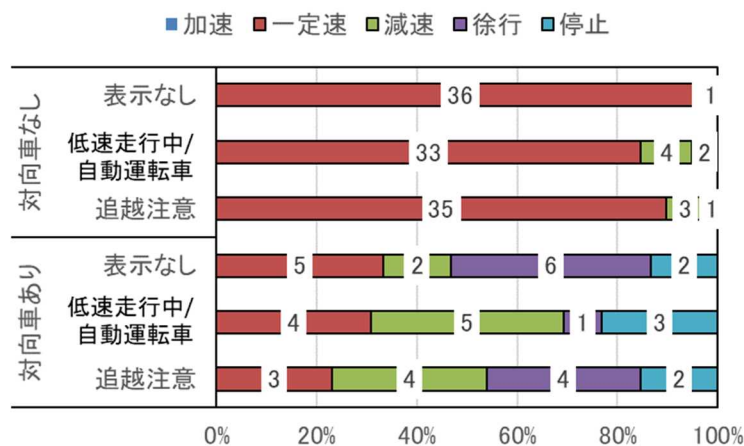


図 1-90 実験車両を追い越す直前の後続車の走行状態（みやま市）

対向車の接近がない場合、表示なしでは 37 件の観測数に対して、実験車両を一定速のまま追い越す後続車の事例が 36 件、追い越す前に徐行した事例が 1 件、それぞれ観測された。これに対して、eHMI を装備してメッセージを提示した場合は、「低速走行中/自動運転車」（交互表示）の 41 件、「追越注意」の 39 件の各観測数に対して、実験車両を追い越す前に減速した後続車の事例が 4 件、3 件、追い越す前に徐行した事例が 2 件、1 件とそれぞれ観測され、停止する後続車の事例が 14 件観測されたが、一定速のまま追い越す事例が大多数となり、33 件、35 件がそれぞれ観測される結果となった。これらの結果に基づくと、後続車のほとんどが一定速のまま実験車両を追い越しており、eHMI を装備することによる後続車の追越時の速度抑制は若干の効果をもたらす程度であったと考えられる。

一方、対向車が存在する場合を対象にすると、表示なしでは 15 件の観測数に対して、実験車両を一定速のまま追い越した後続車の事例が 5 件、実験車両を追い越す前に減速した後続車の事例が 2 件、徐行した後続車の事例が 6 件、停止した後続車の事例が 2 件、それぞれ観測された。eHMI を装備して「低速走行中/自動運転車」（交互表示）を提示した場合は 13 件の観測数に対して、実験車両を一定速のまま追い越した後続車の事例が 4 件、実験車両を追い越す

前に減速した後続車の事例が 5 件、徐行した後続車の事例が 1 件、停止した後続車の事例が 3 件、それぞれ観測された。「追越注意」を提示した場合には 13 件の観測数に対して、実験車両を一定速のまま追い越した後続車の事例が 3 件、実験車両を追い越す前に減速した後続車の事例が 4 件、徐行した後続車の事例が 4 件、停止した後続車の事例が 2 件、それぞれ観測された。赤来高原と同様に、主として対向車の存在により、後続車の進行が制約されている状況であり、また全体の観測数もやや少ない状況であることから、eHMI を装備したことによる効果であるかの判断は難しいが、定性的には実験車両が減速中や徐行中、あるいは停止中の状態にあるときに追越が開始されており、少なからず、一定速での走行状態にある実験車両を追い越そうとする後続車を抑制する効果を有する可能性が示唆される。

同じく、みやま市を対象に、後続車が実験車両を追い越す直前の実験車両の走行状態を抽出した。その結果を図 1-91 に示す。

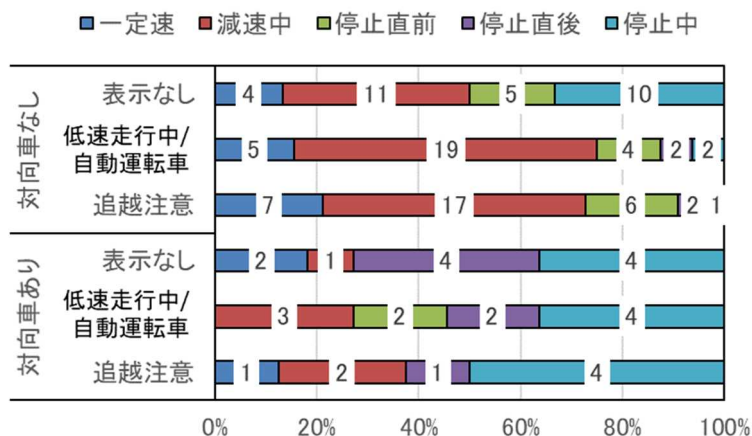


図 1-91 後続車の追越開始時点での実験車両の走行状態（みやま市）

対向車の接近がない場合、表示なしでは 30 件の観測数に対して、実験車両が一定速の状態の後続車が追越を開始した事例が 4 件、減速中に追越を開始した事例が 11 件、停止直前に追越を開始した事例が 5 件、停止中に追越を開始した事例が 10 件、それぞれ観測された。これに対して、eHMI を装備してメッセージを提示した場合、「低速走行中/自動運転車」（交互表示）の提示では 32 件の観測数に対して、実験車両が一定速の走行中に後続車が追越を開始した事例が 5 件、減速中に開始した事例が 19 件、停止直前、停止直後、停止中に開始した事例が 4 件、2 件、2 件、それぞれ観測された。また「追越注意」の提示では 32 件の観測数に対して、実験車両が一定速の走行中に後続車が追越を開始した事例が 7 件、減速中に開始した事例が 17 件、停止直前、停止直後、停

---

---

止中に開始した事例が 6 件、2 件、1 件それぞれ観測された。十分な観測数ではないため、参考としての結果となるが、eHMI を装備してメッセージを提示すると、後続ドライバーに対して実験車両が減速中に追越開始を促してしまう可能性が示唆される。

一方、対向車が存在する場合を対象にすると、表示なしでは 11 件の観測数に対して、実験車両が一定速の走行中に後続車が追越を開始した事例が 2 件、減速中に開始した事例が 1 件、停止直後、停止中に開始した事例が、4 件、4 件とそれぞれ観測された。これに対して、eHMI を装備してメッセージを提示した場合、「低速走行中/自動運転車」（交互表示）の提示では 11 件の観測数に対して、実験車両の減速中に後続車が追越を開始した事例が 3 件、停止直前、停止直後、停止中に開始した事例が 2 件、2 件、4 件とそれぞれ観測された。「追越注意」の提示では 8 件の観測数に対して、実験車両の一定速での走行中に追越を開始した事例が 1 件、停止中に追越を開始した事例が 2 件、停止直後、停止中に開始した事例が 1 件、4 件とそれぞれ観測された。こちらも十分な観測数ではないため、参考としての結果となるが、対向車が存在する場合には、eHMI の装備の有無と、後続車が追越開始する際の実験車両の状態との関係はおおむね独立である傾向が見られ、これは対向車の接近による影響によって生じている可能性が考えられる。

---

---

#### 1.6.6.12. 本節のまとめ

本節では、実験室ならびに試験走路等の実験を通じて得られた自動運転サービスカーの eHMI によるコミュニケーション効果について、横断ケースと追越ケースを対象に一般道での実証実験を通じて検証した。実証実験を通じて以下を確認した。

- 横断ケースでは、eHMI の実装が歩行者の横断判断・開始の遅延の低減に寄与することを確認した。
- 追越ケースでは、自動運転サービスカーとの速度差が大きい国道などで、eHMI を装備しない場合に、後続車が一定速のまま追越を開始する状況が観測されたが、eHMI を装備することで後続車は減速後・徐行後に追越を開始するように促せることを確認した。

実証実験を通して得られた今後の課題として、道路環境や後続車へ譲る際の自動運転サービスカーの停止位置にも起因すると考えられる対向車と後続車の干渉が少数観測され、これらに関わる原因分析と対応するためのコミュニケーション方法の詳細検討が必要となる。

#### 謝辞

実証実験を実施するにあたり、計画段階から事前調整、現地での調整、さらに現地での運行実施に至るまで、島根県飯南町、福岡県みやま市の行政関係者をはじめ、関係省庁、関係機関・団体など多くの方々にご協力いただきました。ここに謝意を表します。

---

---

## 1.7. 自動運転車に対して周囲交通参加者が備えるべき知識の検証・提案

### 1.7.1. 車両挙動や eHMI を利用した自動運転車から交通参加者へのコミュニケーションに関する検討

#### 1.7.1.1. 実験目的

1.3.1 節では、自動運転車が周囲を十分に検知できない状況に至った場合にテキストメッセージを消灯することで歩行者の注意を喚起し、負の影響を改善する方法とその効果について言及した。テキストを消灯することの効果は、“とまります”を発信する eHMI のみ限定されており、また、歩行者の一時的な注意喚起を促進することを確認できたが、その効果は十分とは言えず、自動運転車両がなぜテキストを消灯したのかを理解させるまでには至っていない。そこで本実験では、自動運転車の機能と限界における情報を事前知識として歩行者に与え、事前教育による負の影響の改善に関わる事前検討を実施した。なお本研究は慶應義塾大学理工学部理工学研究科生命倫理審査委員会の承認を得て実施した。

#### 1.7.1.2. 実験装置および実験方法

実験装置ならびに実験方法は、基本、1.3.1 節と同様であった。慶應義塾大学矢上キャンパス 14 棟 B203 号室もしくは 24 棟 609 号室において、1.3.1.2 節に記述した VR 機材、VR 環境を利用して実験を実施した。

#### 1.7.1.3. 事前教育

負の影響を改善するために、被験者に自動運転車の機能と限界における知識を与える事前教育を実施した。本実験では、被験者に無信号横断歩道での横断を体験させることから、事前教育では、本実験で体験する自動運転車が eHMI を介してテキストメッセージを発信することと発信メッセージの例、自動運転車のセンシング機能の機能限界と故障が発生することを事例と合わせて説明した。本実験で用いた事前教育の資料を図 1-92 に示す。事前教育にて与える知識を被験者が十分に理解できているかを確認するために、自動運転車の機能と限界に関わるクイズ（テスト）を実施した。

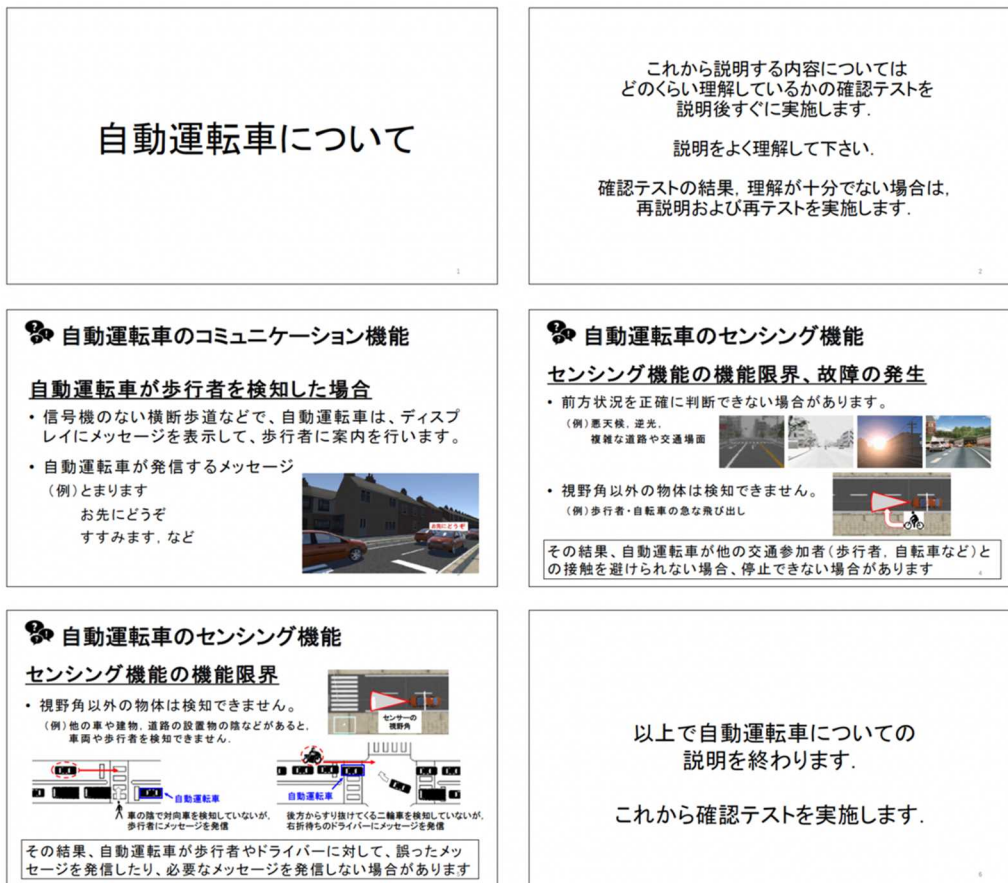


図 1-92 事前知識を与えるための資料

#### 1.7.1.4. 被験者

被験者は運転免許を保有する非高齢者 33 名であり、表 1-27 に示されるように、実験条件に基づく被験者グループの間で年齢、性別などがおおむね均一となるように設定した。

表 1-27 各条件の被験者の年齢構成等の詳細

テキストメッセージ	性別	年齢	人数
事前知識 + お先にどうぞ	男性	20-57 歳、平均 38.75 歳	8
	女性	20-58 歳、平均 40.88 歳	9
事前知識 + とまります	男性	27-59 歳、平均 42.88 歳	8
	女性	20-58 歳、平均 38.5 歳	8

#### 1.7.1.5. 実験の流れ

事前教育の資料を用いて自動運転車の機能と限界について被験者に事前知識を与えた後、それらに関する被験者の理解を確認するために自動運転車の機能と限界に関わるテストを実施した。理解が不十分であると判断される場合に

は、再度テストを実施して自動運転車の機能と限界に関わる事前知識を理解させるとともに確認した。実験の手続きは、1.3.1 節の構成と同一であった。

#### 1.7.1.6. 実験結果

本実験では、1.3.1.5 節と同様に、交通場面②での被験者の判断や行動の特徴を分析する。事前知識による負の影響の改善効果を確認するために、2020 年度の実験結果ならびに 1.3.1 節の実験結果を再掲している。被験者が横断を開始した後に見通しの悪い箇所を含めて左右確認を行ったかどうかの行動を分析した。その結果を図 1-93 に示す。1.3.1 節の実験では、テキスト消灯が“とまります”を発信する視覚・eHMI のみに歩行者の左右確認を促した反面、本実験では、“お先にどうぞ”を発信する視覚・eHMI とのコミュニケーション時と同様な効果が観測された。また、「事前教育・とまります」（図中では「教育・とまります」）については、「テキスト消灯型・とまります」と同様に、歩行者の左右確認を促せる効果があると考えられる。

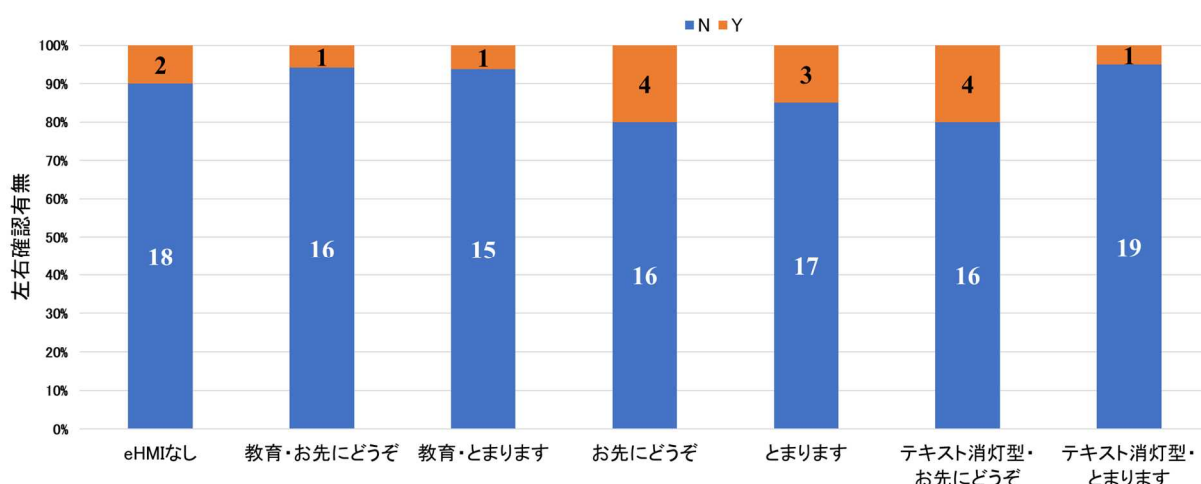


図 1-93 横断時の左右確認有無

横断途中で被験者が見通しの悪い箇所を確認するために一旦停止したかどうかを分析した。その結果を図 1-94 に示す。左右確認行動の結果と同様に、“お先にどうぞ”のメッセージを発信する eHMI において、「テキスト消灯型」より一旦停止した参加者の数が多いことが確認された。しかしながら、“とまります”のメッセージを発信する場合には、「テキスト消灯型」より一旦停止を行わない被験者は若干増加した。

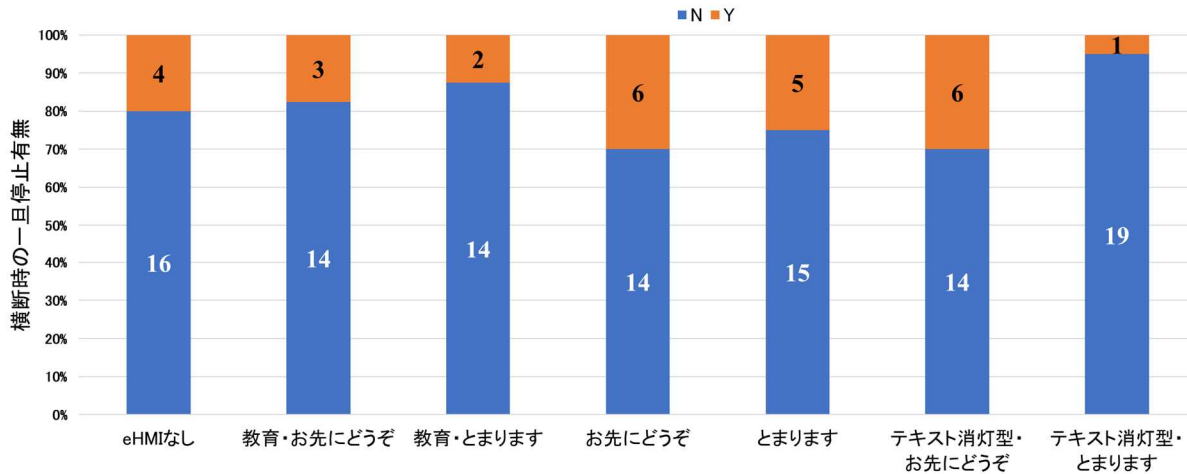


図 1-94 横断時の一旦停止有無

被験者の横断時の対向車線の手動運転車との間にニアミスもしくは接触が発生したかを分析した。その結果を図 1-95 に示す。「事前教育・お先にどうぞ」条件ではニアミスもしくは接触が 2 件発生したが、「テキスト消灯型・お先にどうぞ」での 8 件よりもニアミスや接触の発生件数が少ない結果となった。同様に「教育・とまります」条件においてもニアミスもしくは接触の発生件数は 2 件であった。これらの結果から、事前知識を歩行者に与えることで、横断中における見通しの悪い箇所に対して歩行者に注意を向けさせる効果があることが確認された。

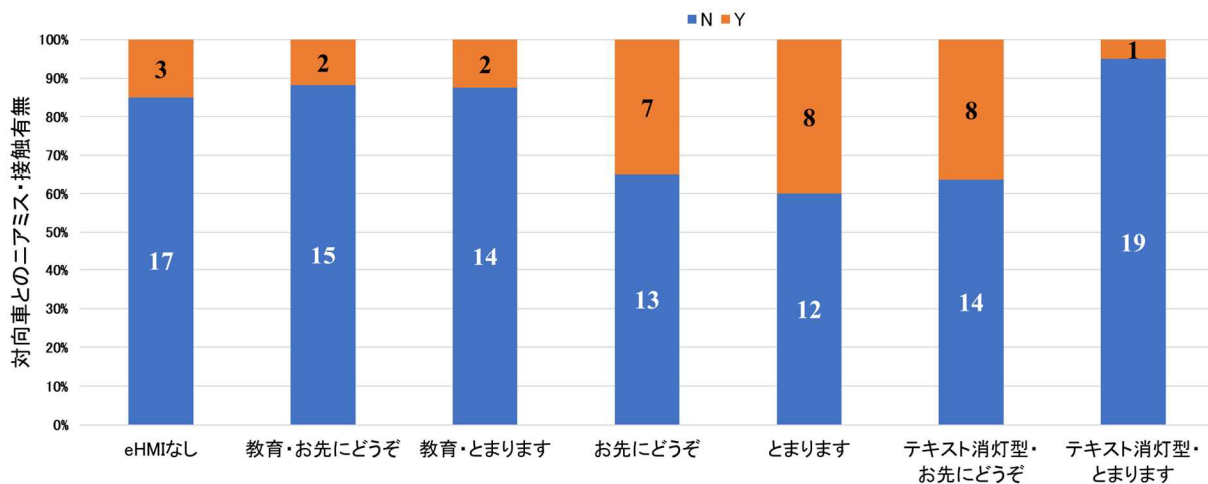


図 1-95 横断時の対向車とのニアミス・接触有無



---

---

#### 1.7.1.7. 考察

本実験では、無信号横断歩道において、eHMI を介した自動運転車と歩行者の間のコミュニケーションに取り組み、自動運転車の機能に対する知識の有無が歩行者の横断行動に与える影響について調べた。事前知識を与える資料を作成、過去の実験と同じ VR 実験環境を実装して被験者実験を実施した結果、事前知識を与えることで、負の影響が改善できる可能性が示唆された。具体的には、eHMI のメッセージを消灯する改善方法を実装した際には、“とまります”を発信する eHMI にしか改善効果が見られなかった。一方で、事前教育を受けた歩行者には、メッセージの種類と関係なく、周囲を確認しつつ対向車との接触を防げる傾向が見られた。このことから、自動運転車の機能とその限界を知ることによって、自動運転車とのコミュニケーションを積み重ねることによる負の影響が改善できる可能性が示された。今後の課題として、歩行者において最も役に立った情報の精査や心理要因の精査が考えられる。

---

---

#### 1.7.1.8. 本節のまとめ

eHMI を介した自動運転車両とのコミュニケーションを続けることで、負の影響が発生されることが観測された。1.3.1 節では、eHMI のテキストを消灯する支援方法を取り組み、その効果を分析した。本節では、その結果に基づき、歩行者に事前教育を実施し、教育による効果を調べた。VR 実験を実施する前に、自動運転車両の機能と限界について説明を行い、説明した内容に基づいてクイズを実施した。テキスト消灯型支援方法は、とまります” のメッセージを伝達する自動運転車両だけに効果が確認されたが、事前教育を行った結果、メッセージの種類に関わらず負の影響が改善できる効果が見られた。このことから、歩行者に自動運転車両ができることとできないことにおける知識を理解してもらうことで、負の影響が改善できることが期待される。

---

---

## 1.8. 課題 A のまとめ

- 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握
    1. 自動運転車は、乗務員のアイコンタクトやジェスチャーがないことや、低速であることや加減速が柔軟でないことから、交通参加者が自動運転車の車両挙動から意図や挙動を理解できず、交通の非効率を引き起こしており、それら非効率なコミュニケーション場面、不安全的なコミュニケーション場面を整理すると、自動運転車の前方を周囲交通参加者が横切る横断ケース、交通参加者（歩行者）の後方あるいは前方から自動運転車が接近する状況で自動運転車から交通参加者に運行軌道上からの回避を依頼したい接近・回避ケース、低速走行中の自動運転車に対して後方から接近する車両が自動運転車を追い越すために右側にはみ出そうとする追越ケースなどが挙げられる
    2. 非効率・不安全的なコミュニケーションの原因として、自動運転サービス車両の車両挙動や行動意図を周囲交通参加者が理解できていないことが示唆される
    3. 非効率・不安全的なコミュニケーションを改善するためには、自動運転車の意図を周囲交通参加者に伝達するためのコミュニケーション手段等が必要と考えられ、eHMI や路面標示、事前知識の提供などについて机上検討を行った
  - 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴分析とコミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析
    1. テキストメッセージを発信する eHMI を搭載した自動運転車からのコミュニケーションを繰り返し経験することにより、横断の際の周囲状況に対する歩行者の確認行動が低下する可能性がある。このような「負の影響」への対応案として、周囲の交通状況から負の影響が生じる可能性がある場合に eHMI による意図を表すメッセージ発信を消灯する手続きを実施したところ、左右確認や横断途中での停止などを促せる可能性が示唆されたが、自動運転車が“とまります”を発信する場合に限って効果が確認された。そのため、メッセージの種類によらない改善効果を見出せるための改善手法の検討が必要である。
  - 自動運転化レベル 4 を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および eHMI の実装
    1. 自動運転の実験車両 2 台（公道走行可）については、導入した実験車両 2 台ともに、慶應義塾大学新川崎 K<sup>2</sup> タウンキャンパスの構内道路・駐車
- 
-

---

---

エリアに敷設した電磁誘導線を用いて自動運転の実現を可能とした

2. 試験走路環境において、横断のユースケース、接近・回避のユースケースを再現可能とし。2022年度早期に試験走路実験を実施するための車両製作、eHMI等を含む車両側準備作業を実施した

- 単路部や交差部を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案

< 接近・回避のユースケース >

1. 道の駅の単路部を想定し、歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートとの円滑なコミュニケーションのあり方について取り組んだ結果、支援の有無と関係なく、“回避して下さい”の聴覚（音声）メッセージや eHMI を介したメッセージの発信が望ましいと報告された。その中でも、聴覚メッセージを用いた案内が最も多く回答されており、歩行者のさらなる回避を求めるためには、具体的な数値を入れた案内への要望が挙げられた。
2. 自動運転車から歩行者に“すすみます”聴覚メッセージを与えるコミュニケーション支援方法を VR 実験で検証した結果、視覚メッセージを用いた eHMI や路面標示より歩行者の回避を促すに効果的であることが観測された。また、自動運転車両と持続的なコミュニケーションをとることで、自動運転車に対する信頼感も向上できることが確認された。
3. 歩行者は、自動運転車から自分の行動と関わる具体的なメッセージにおいてポジティブな印象を与えられる可能性が示唆された。“道を開けてください”の方が、“すすみます”より歩行者の不安感の軽減に効果的であることが確認された。さらに、聴覚と視覚を用いた eHMI の長所を確認でき、今後、これらを踏まえたコミュニケーションのデザインの検討が必要である。

- 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための eHMI 等に関する検討と提案

< 接近・回避のユースケース >

1. 道の駅の駐車場エリアを想定し、歩行者の後ろから近づいてくる自動運転ゴルフカートとの円滑なコミュニケーションのあり方について調べた。ビデオ視聴実験の結果では、単路部での結果とほぼ同じ結果が見られて

---

---

おり、“回避して下さい”の聴覚メッセージが歩行者の回避を促すために効果的である期待される。また、歩行者の回避が不十分だった際に、十分な回避を求めるためには、具体的な数値を入れた情報の発信が期待される。

2. 単路部を想定した VR 実験の結果と同様な結果が得られており、“すみません”の聴覚メッセージを流す場合、視覚メッセージを用いた eHMI や路面標示より歩行者の回避を促すに効果的であることが観測された。また、自動運転車両と持続的なコミュニケーションをとることで、自動運転車に対する歩行者の理解と信頼感も向上、および、不安感を軽減できることが確認された。

- 道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験に基づいた eHMI 等の効果検証・提案

1. 実験室ならびに試験走路等の実験を通じて得られた自動運転サービスカーの eHMI によるコミュニケーション効果について、横断ケースと追越ケースを対象に一般道での実証実験を通じて検証した。その結果、横断ケースでは、eHMI の実装が歩行者の横断判断・開始の遅延の低減に寄与することを確認した。また追越ケースでは、自動運転サービスカーとの速度差が大きい一般国道などで、eHMI を装備しない場合に、後続車が一定速のまま追越を開始する状況が観測されたが、eHMI を装備することで後続車は減速後・徐行後に追越を開始するように促せることを確認した。
2. 課題として、道路環境や後続車へ譲る際の自動運転サービスカーの停止位置にも起因すると考えられる対向車と後続車の干渉を少数観測した。これらに対応するためのコミュニケーション方法の詳細検討が必要となる。

- 低速走行の自動運転車からの eHMI を利用したコミュニケーションによって発生する負の影響を改善する教育方法の検討

1. 過去の実験から、自動運転車における事前説明の必要性が提案されたことから、本実験では、説明資料を用いて事前教育を行い、負の影響における改善効果を調べた。その結果、周りの交通環境における歩行者の注意喚起、注意深い行動、また、対向車とのニアミスや衝突を防げる効果が確認された。さらに、メッセージの類によらない負の影響の改善効果が観測された。今後の研究では、歩行者の心理状態の変化の定量的な分析が必要と考えられる。

---

---

## 参考文献

- [1] SIP 第 1 期自動走行システム成果報告: HMI 等のヒューマンファクタに関するデータ収集によるガイドライン策定, [https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd01\\_more/121.pdf](https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd01_more/121.pdf)
- [2] 日本自動車工業会: 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver1.0. [http://www.jama.or.jp/safe/automated\\_driving/pdf/framework.pdf](http://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/pdf/framework.pdf)
- [3] Dey, D., Martens, M., Eggen, B., & Terken, J.: Pedestrian road-crossing willingness as a function of vehicle automation, external appearance, and driving behavior, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, Vol. 65, pp. 191-205, 2019.
- [4] Ackermann, C., Beggiato, M., Schubert, S., Krems, J.F.: An experimental study to investigate design and assessment criteria: What is important for communication between pedestrians and automated vehicles? *Applied Ergonomics*, Vol. 75, pp.272-282, 2019.
- [5] Mitman, M.F., Ragland, R.D., & Zegeer, V.C.: The marked crosswalk dilemma: Uncovering some missing links in a 35-year debate. UC, Berkeley: UC Berkeley Traffic Safety Center, 2008
- [6] Zhuang, X., & Wu, C.: The safety margin and perceived safety of pedestrians at unmarked roadway. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology & Behavior*. 15(2), pp119–131, 2012.
- [7] 国土交通省道路局: 道の駅「コスモール大樹」を拠点とした自動運転サービスの長期実証実験を開始, [https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/douro\\_keikaku/fns6a1000000c11t-att/fns6a1000000neat.pdf](https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/douro_keikaku/fns6a1000000c11t-att/fns6a1000000neat.pdf).
- [8] 国土交通省道路局: 道の駅「かみこあに」で自動運転サービス本格導入へスタート, [http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/kisya/kisyah/images/78774\\_1.pdf](http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/kisya/kisyah/images/78774_1.pdf).
- [9] 国土交通省道路局: 常陸太田市における自動運転サービスの長期実証実験を開始, <https://www.mlit.go.jp/common/001293996.pdf>.
- [10] 国土交通省道路局: 中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス道の駅「奥永源寺溪流の里」を拠点とした自動運転サービスの長期実証実験を行います。～11月15日より実験を開始～. <https://www.kkr.mlit.go.jp/road/sesaku/jidouuntten/o19a8v000000a24a-att/a1573103073475.pdf>.
- [11] 国土交通省道路局: 道の駅「芦北でこぼん」を拠点とした自動運転サービスの長期間の実証実験を開始. [http://www.qsr.mlit.go.jp/site\\_files/file/n-kisyahappyou/h30/19012305.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/h30/19012305.pdf).
- 
-

---

---

[12] 国土交通省道路局：中山間地域における長期の自動運転実証実験を開始  
～自動運転に対応した道路空間の基準等の策定に向けて～，  
<https://www.mlit.go.jp/common/001259382.pdf>.

---

---

## 2. 課題 B：走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における適切な運転引継のための HMI 等に関する研究開発

### 2.1. システム主導による自動運転から手動運転への遷移

#### 2.1.1. 運転交代前の Attentive 状態の評価方法

##### 目的

SIP 第 1 期では、運転監視を必要としない自動運転から手動運転へ運転モードが遷移した場合に、ドライバーの運転引継に対する準備状態 (Readiness) が低下することにより、運転引継が困難になる可能性を報告した。この成果に基づき、課題 B では、ドライビングシミュレータを用いた定量的評価によって、運転引継が困難となる状況について詳細に検討することを研究目的においた。2019 年度は特に次の二つの課題を検討するための実験を実施した。

一つ目の課題は、自動運転機能使用可能区間を外れる際 (いわゆる ODD 遷移) の運転引継において、遷移前後の運転環境の変化に応じて運転引継の困難性が異なる可能性についての検討である。具体的には、運転環境に大きな変化がない場合 (例えば、自動車専用道内での遷移) では、運転環境に大きな変化がある場合 (例えば、専用道からゲートを通過して一般道へ移る場合) に比べて、適切な運転引継がより困難になると考えられる。そして、困難な運転引継状況を改善するモード遷移のあり方についての検討も同時に行われた。SIP 第 1 期で検討してきた運転監視を必要としない自動運転から手動運転へのモード遷移では、ドライバーに運転監視義務のない状態からの突然の運転引継となるため、適切な運転引継が困難であると考えられる。そこで、運転監視を必要としない自動運転から手動運転への遷移の間に、遷移猶予モード (運転監視を必要とする自動運転モードに相当) を挿入した段階的モード遷移を提案することで、適切な運転監視 (Object and Event Detection and Response:OEDR) 状態への回復効果を検証した。

もう一つの課題は、運転引継が困難であるか否かを判断するドライバー状態の人間計測指標を確立することであった。SIP 第 1 期では Readiness として主に眠気の検出を主眼に置いたが、SAE レベル 2 相当と呼ばれるような高度運転支援システムの利用においては、操作主体はシステムにありながらもドライバーには運転監視義務が課せられる。こうしたシステムの利用時においては、システムの利用中にその利用を継続して良いかどうかや、システムの利用可能区間が終了する際に操作主体をドライバーに受け渡しても良いかどうかをシステム側が判断できなければならない。すなわちドライバーの運転監視状態を計測・評価する手法の開発が必要である。そこで本研究では、ドライバーに運転監視を課した際のドライバーの視認行動を計測し、適切な監視状態を反映する

---

---



---

---

指標の探索を行った。

## 方法

### 実験期間

2020年1月22日から2020年3月30日。

### 実験参加者

過去3ヶ月間に週1日以上車を運転していると報告した成人30名（女性15名、男性15名、平均年齢45.7歳、年齢範囲20-70歳）。参加者の募集にあたっては、20代、30代、40代、50代、60代、70代の参加者数および男女比がおおよそ均等になるよう調整した。

### 装置及び刺激

実験は国立研究開発法人産業技術総合研究所の保有する定置型ドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン社製）を使用して行われた。これは制御用ソフトウェア（D3Sim, 三菱プレジジョン社製）、1台のホストコンピュータ、6台の映像出力用コンピュータにより制御され、運転席の前方、左前方、右前方、左側方、右側方に設置された75インチ型液晶ディスプレイ（PN-HB751, SHARP社製）に模擬走行映像を表示した。また後方には70インチ型液晶ディスプレイ（TH-70LF50J, Panasonic社製）が設置され、ルームミラー越しに見た際に車両後方の自然な模擬走行映像が見られるよう調整した。またサイドミラーは電子式で、運転席の左右に7インチ型液晶ディスプレイ（LCD7620, ADTECHNO社製）が設置され、左右側後方の模擬走行映像をそれぞれ表示した。ハンドルやアクセル・ブレーキペダルなどの操作は、毎秒120回の頻度でホストコンピュータに記録した。

自動運転中に実施したドライバーのサブタスクには、テトリスを用い、タブレットPC（Surface Pro, Microsoft社製）上で実行した。実験参加者の視認行動計測には頭部運動計測装置（三菱プレジジョン社製）およびゴーグル装着型アイトラッカー（EMR-9, ナックイメージテクノロジー社製）を用いた。頭部運動および視線位置は毎秒120回、ドライバーの頭部に取り付けたカメラ画像に視線位置を重畳した映像データは毎秒30回の頻度で記録した。

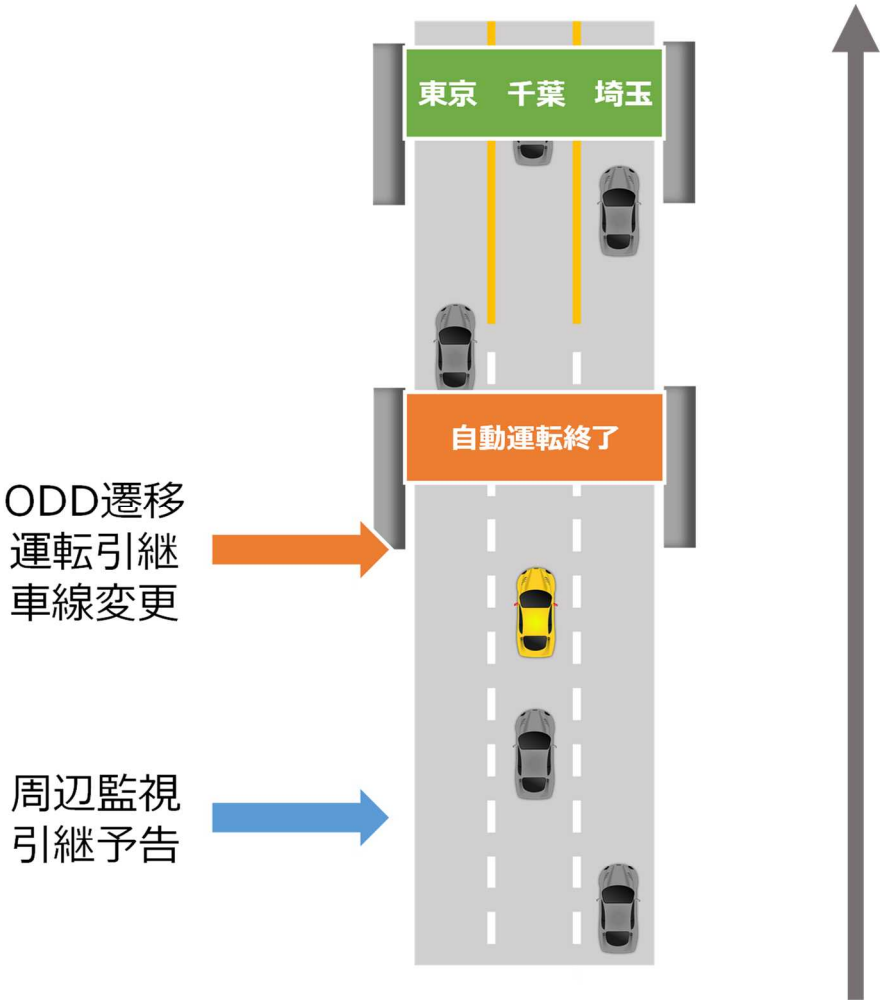
### 手続き

実験では、ODD遷移と運転引継が発生する約5分間の走行シナリオを設定した（図2-1）。

---

---

**被験者のタスク(運転引継後)**  
「東京方面に向かって走行してください」



**被験者のタスク(運転引継前)**  
「テトリスを行なってください」

図 2-1 走行シナリオの模式図

具体的には、まず片側 3 車線の自動車専用道の中央車線を時速約 60 キロで自動走行し、実験参加者は、自動運転中は常にタブレット PC を使用してゲーム (テトリス) をプレイしてもらった。なお、テトリスのプレイ中は走行映像表示用ディスプレイを一面グレーにして、周辺走行環境が見れないようにした

(走行音は通常通り提示した)。自動走行開始から約 70 から 160 秒後に ODD 遷移に伴う運転引継を発生させ、約 12 から 21 秒以内に運転引継と同時に表示される進路案内板の表示（東京方面）に従って左右どちらかの車線への手動運転操作による車線変更を求めた。このときの運転行動、視線運動および頭部運動を計測した。

実験条件はまず運転引継時のドライバー状態の向上効果が期待される以下の 3 要素を組み合わせた 4 条件を設定した。第 1 の要素は、運転引継の約 1 分前（自動運転終了地点の 1 km 前地点通過時）に音声アナウンス（「まもなく自動運転を終了します」）による予告を行うか否かであった（予告）。第 2 の要素は、運転引継の約 1 分前（自動運転終了地点の 1 km 前地点通過時）からテトリスを中止して周辺環境の監視を開始するか否かであった（監視）。第 3 の要素は「自動運転終了」と書かれたゲートを道路上に設置し、運転引継位置を視覚的に知らせるか否かであった（ゲート）。さらに探索的検討要素として、周囲に他車両が走行していない場合、すなわち運転監視による交通環境理解の影響を排除した条件を 2 条件設定した（条件 5、6）。

表 2-1 実験条件と操作された要素の組み合わせ

操作された要素		条件1	条件2	条件3	条件4	条件5	条件6
予告	運転引継の約1分前に音声アナウンスによる予告を行うか否か	あり	あり	あり	なし	あり	なし
監視	運転引継の約1分前からゲームをやめて運転監視を開始するか否か	あり	あり	なし	なし	あり	なし
ゲート	道路上にゲートを立てて運転引継位置を視覚的に表示するか否か	あり	なし	なし	なし	あり	なし
他車両	自車以外の車両が周辺を走行しているか否か	あり	あり	あり	あり	なし	なし

他車両のある 4 条件における運転引継時の他車両の配置およびその後の走行アルゴリズムは 10 パターンで、参加者はこの 10 パターンを条件ごとに 1 回ずつ走行した。これにより各条件間での車線変更の難易度が同じになるよう統制された。なお、車両の視覚的要素（車両の色もしくは車種）を走行ごと

に変更し、複数の条件の走行を同じ日に行わない（すなわち 1 日に同じパターンを複数回経験しない）ようにし、条件ごとに実施順を変更することで、同じパターンが存在することに気づかれないよう配慮した。他車両なしの 2 条件では、他車両のない環境で 10 回ずつ走行した。よって各参加者が行った実験走行は計 60 回であった。各条件は別の日に実施されたため 1 日あたりの走行回数は 10 回、実験参加日数は 6 日間であった。条件の実施順は参加者ごとにランダム化された。

## 結果

### 運転引継後の運転行動および視認行動

#### 運転引継反応時間（何らかの運転操作がされ始めるまでの時間）

自動運転区間終了後、どの程度スムーズに運転引継が開始されたかを検討するため、各条件における自動運転区間終了地点を起点とした運転操作開始までの平均反応時間（すなわち、ステアリング、アクセル、ブレーキ、ウインカーのいずれかを操作し始めるまでの時間）を算出した。この時間が短いほど、運転引継をスムーズに開始できるドライバー状態であったと解釈できる。結果を図 2-2 に示す。図 2-2 では、反応時間が短いほどスムーズな運転引継ができていたことを意味する。条件名下の文字は操作された要素を示す（予＝予告，監＝監視，ゲ＝ゲート）。エラーバーは標準誤差を示す。

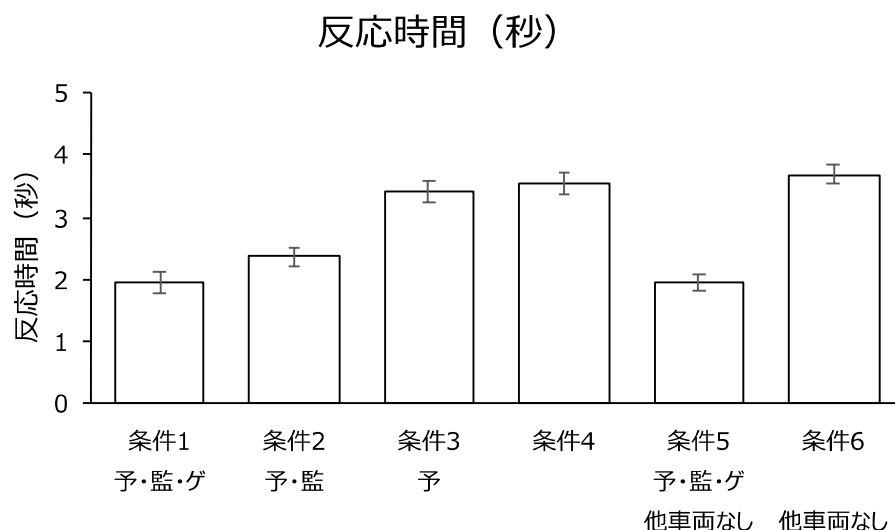


図 2-2 運転引継反応時間(ステアリング、アクセル、ブレーキ、ウインカーのいずれかを操作し始めるまでの時間)

結果より、条件 1 と条件 2 の反応時間が条件 3 と条件 4 に比べて短く、運転引継前 1 分間の運転監視が、運転引継をスムーズに開始できるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

#### 所要時間（車線変更完了までに要した時間）

車線変更がどの程度スムーズに行われたかを検討するため、車線変更を求められてから（教示により、運転交代時がすなわち車線変更を企図するタイミングになるよう操作されている）、各条件において実際に車線変更を完了するまでにどの程度の時間を要したかを算出した。この時間が短いほど、車線変更をスムーズに行うことのできるドライバー状態であったと解釈できる。なお、通常の交通場面では安全のため、車線変更の意思表示後 3 秒程度走行した後に車線変更が開始されるが、本実験では運転引継後の最短車線変更可能時間を明らかにするため、車線変更の意思表示後 3 秒未満に車線変更を開始してもよいこととした。結果を図 2-3 に示す。図 2-3 では、時間が短いほどスムーズな車線変更ができていたこと意味する。条件名下の文字は操作された要素を示す（予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート）。エラーバーは標準誤差を示す。

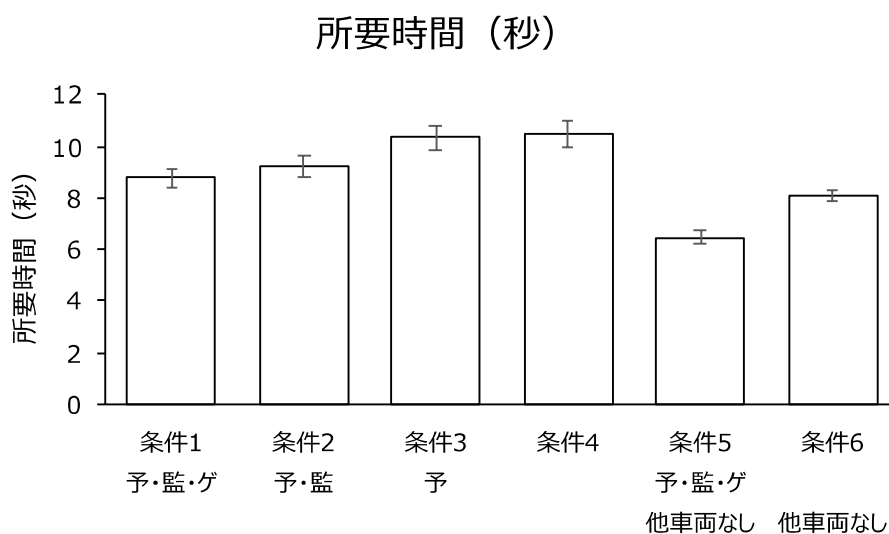


図 2-3 所要時間（車線変更が求められてから完了するまでに要した時間）

結果より、条件 1 と条件 2 の所要時間が条件 3 と条件 4 に比べて短く、運転引継前 1 分間の運転監視が、車線変更をスムーズに行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

### 所要距離（車線変更完了までに要した走行距離）

車線変更完了までの時間により、車線変更のスムーズさを評価したが、交通の流れの状況によって、スムーズさを適切に評価できない可能性もある。例えば、車速が速い場合、変更前の車線をしばらく走り続けていたとしても、車線変更までの時間は短く評価されてしまう。そこで、車線変更を企図してから車線変更完了までに要した走行距離を算出し、条件ごとに算出した。結果を図 2-4 に示す。図 2-4 では、距離が短いほどスムーズな車線変更ができていたことを意味する。条件名下の文字は操作された要素を示す（予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート）。エラーバーは標準誤差を示す。

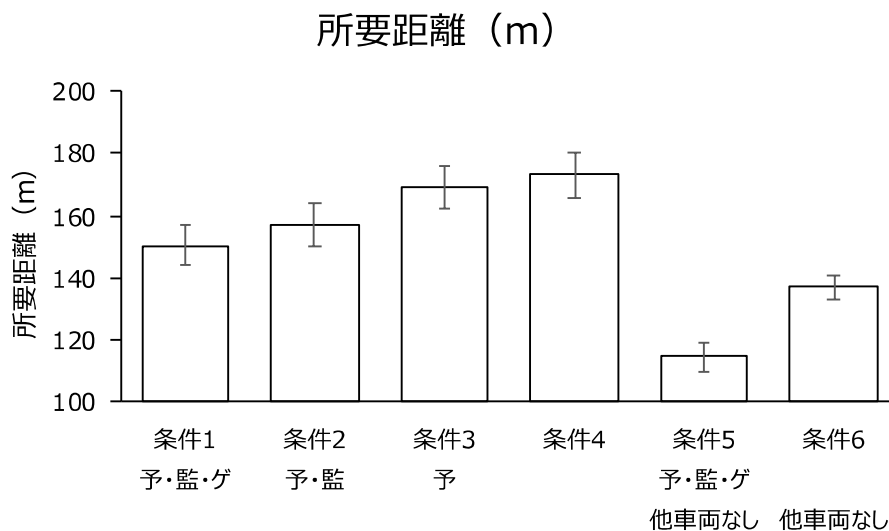


図 2-4 所要距離（車線変更を求められてから車線変更完了までに要した走行距離）

結果より、条件 1 と条件 2 の所要距離が条件 3 と条件 4 に比べて短く、運転引継前 1 分間の運転監視が、車線変更をスムーズに行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

### 余裕距離（車線変更完了地点と車線変更禁止区間開始地点までの距離）

車線変更がどの程度余裕を持って行われていたかを検討するため、各条件における、車線変更完了地点と黄色線（車線変更禁止区間の開始地点）までの平均距離を算出した。この距離が長いほど、車線変更は余裕を持って行われたと解釈できる。結果を図 2-5 に示す。図 2-5 では、距離が長いほど余裕のある車線変更ができていたことを意味する。条件名下の文字は操作された要素を示す

(予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート)。エラーバーは標準誤差を示す。

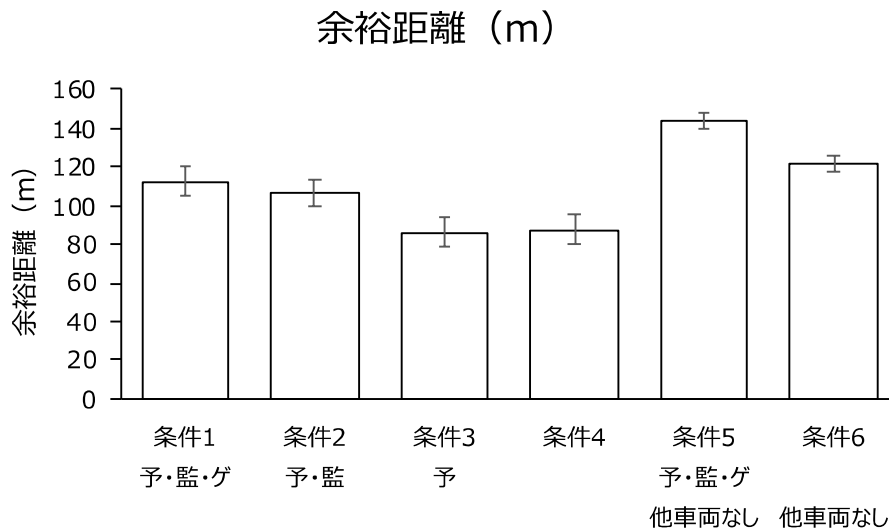


図 2-5 余裕距離 (車線変更完了地点と車線変更禁止地点までの距離)

結果より、条件 1 と条件 2 の余裕距離が条件 3 と条件 4 に比べて長く、運転引継前 1 分間の運転監視が、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

#### 未実施率 (車線変更できずに通り過ぎてしまった走行の割合)

実験では運転引継後できるだけ早く車線変更を行うことが求められたが、車線変更を行うことなく実験走行が終了される場合があった。走行後の感想などから、周辺確認の遅れなどにより安全に車線変更ができないと判断した場合にこうしたことが起きており、車線変更の余裕度を反映する指標となる可能性があった。そこで、各条件における車線未実施率 (全体における車線変更を最後まで実施できなかった試行の割合) を算出した。車線失敗率が低いほど、車線変更を安全に、余裕を持って行うことのできるドライバー状態であったと解釈できる。結果を図 2-6 に示す。図 2-6 では、割合が低いほどスムーズな車線変更ができていたことを意味する。条件名下の文字は操作された要素を示す (予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート)。エラーバーは標準誤差を示す。

## 未実施率 (%)

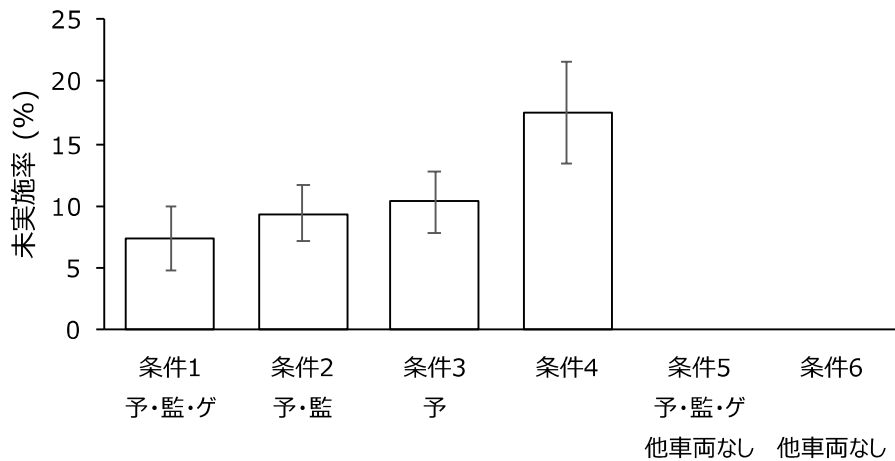


図 2-6 未実施率

結果より、予告があると未実施率は低くなり、運転引継前の準備が、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

### 衝突率 (車線変更時の他車両へ衝突してしまった走行の割合)

上記の車線変更失敗に見られるように、安全に車線変更を行うことができない状況において、衝突を辞さず無理やり車線変更が行われる場合もあった。そこで各条件における、車線変更時の他車両への衝突率を算出した。衝突率が低いほど、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態であったと解釈できる。結果を図 2-7 に示す。図 2-7 では、割合が低いほど安全な車線変更ができていたことを意味する。条件名下の文字は操作された要素を示す(予=予告、監=監視、ゲ=ゲート)。エラーバーは標準誤差を示す。



---

---

## 衝突率 (%)

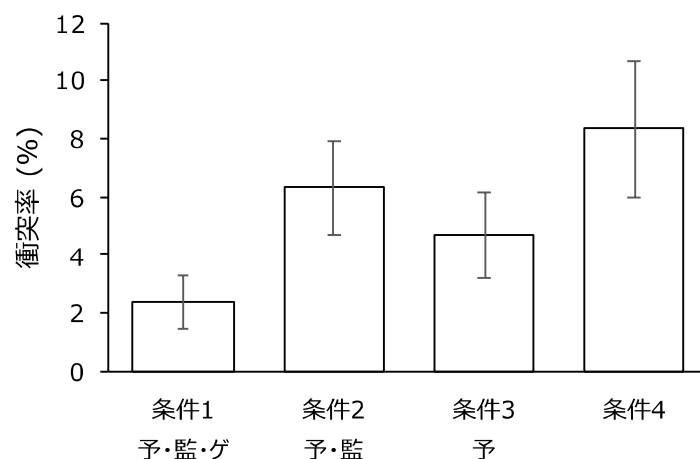


図 2-7 衝突率

結果より、予告があると衝突率は低い傾向となり、運転引継前の準備が、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

### 違反率 (車線変更禁止区間に進入した後に車線変更が行われた割合)

上記の衝突を辞さない車線変更と同様に危険な車線変更として、車線変更禁止区間に進入した後で車線変更を行うケースも見られた。そこで、車線変更がどの程度安全に行われていたかをさらに検討するため、各条件における、車線変更違反率 (全体における車線変更禁止区間に進入した後に黄色線を跨いだ車線変更が行われた走行の割合) を算出した。この割合が低いほど、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態であったと解釈できる。結果を図 2-8 に示す。図 2-8 では、割合が低いほど安全に配慮した車線変更ができていたことを意味する。条件名下の文字は操作された要素を示す (予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート)。エラーバーは標準誤差を示す。

## 違反率 (%)

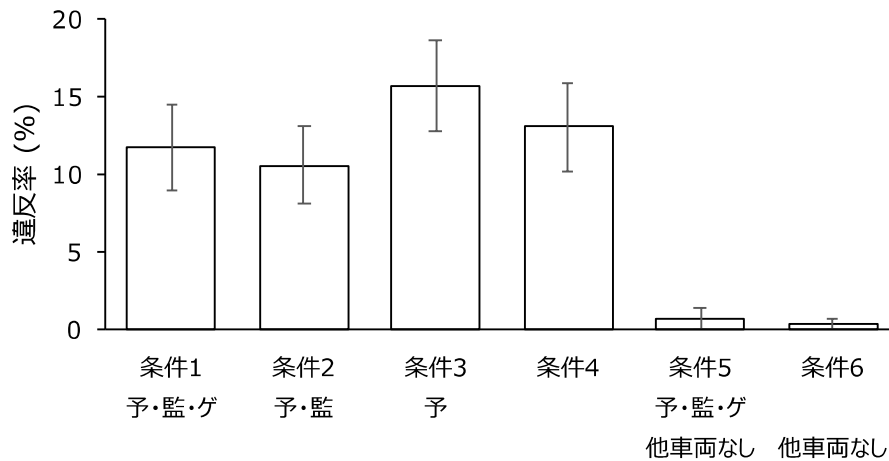


図 2-8 違反率 (車線変更禁止区間に進入した後に黄色線を跨いだ車線変更が行われた走行の割合)

結果より、違反車線変更実施率に対する、運転引継前1分間の運転監視、運転引継の事前予告、ゲートによる運転引継位置の視覚的表示の影響は見出されなかった。

### 失敗率 (未実施、衝突、違反のいずれかに当てはまる走行が行われた割合)

さらに車線変更がどの程度安全に配慮して行われたかを総合的に検討するため、上記の車線変更未実施、車線変更時衝突、違反車線変更のいずれかに当てはまる走行が行われた割合を車線変更失敗率として算出した。結果を図 2-9 に示す。図 2-9 では、割合が小さいほど安全に配慮した車線変更が行われたことを意味する。条件名下の文字は操作された要素を示す (予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート)。エラーバーは標準誤差を示す。

## 失敗 (未実施 or 衝突 or 違反) 率 (%)

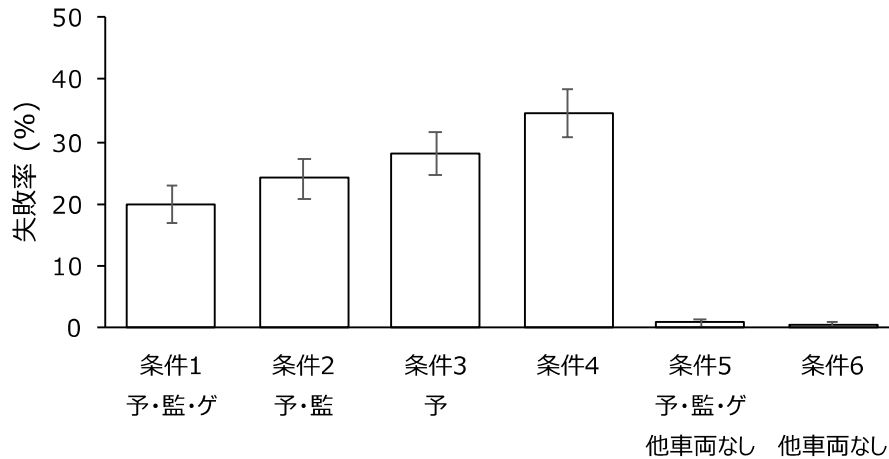


図 2-9 失敗率 (車線変更未実施、車線変更時衝突、違反車線変更のいずれかに当てはまる走行が行われた割合)

結果より、予告があると失敗率は低い傾向となり、運転引継前の準備が、車線変更を安全に行うことのできるドライバー状態を作り出すことに貢献していたことが示唆された。

### 運転引継後の視認行動 (アイトラッカーによる視線計測の結果)

次に、運転引継後の視認行動をアイトラッカーによる視線計測結果から検討した。なおアイトラッカーとの相性が悪く視線データを取得できなかった条件が1つでもあった2名のデータを除き、28名分を解析に用いた。視対象を前方、サイドミラー、ルームミラー、計器その他に分類し、それぞれに対する運転引継直後10秒間の注視率を算出した。

### 運転引継直後10秒間の前方注視率

前方注視率の結果を図 2-10 に示す。条件名下の文字は操作された要素を示す (予 = 予告、監 = 監視、ゲ = ゲート)。エラーバーは標準誤差を示す。

条件 1~4 の中では条件 1 の前方注視率が最も高く、運転引継前 1 分間の運転監視により前方注視率が高い結果になった。

### 引継後10秒間の前方注視率 (%)

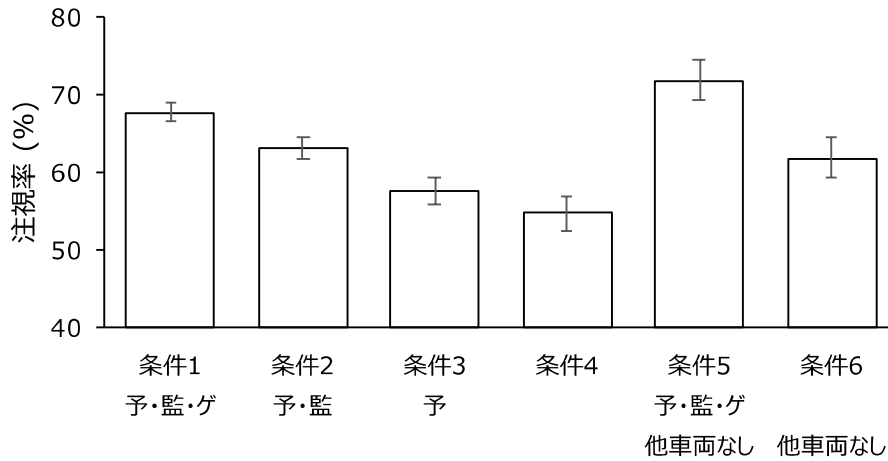


図 2-10 運転引継直後 10 秒間の前方注視率

### 運転引継直後 10 秒間のサイドミラー注視率

サイドミラー注視率の結果を図 2-11 に示す。条件名下の文字は操作された要素を示す(予=予告、監=監視、ゲ=ゲート)。エラーバーは標準誤差を示す。

条件 1~4 のサイドミラー注視率は、ほぼ同じであった。

### 引継後10秒間のサイドミラー注視率 (%)

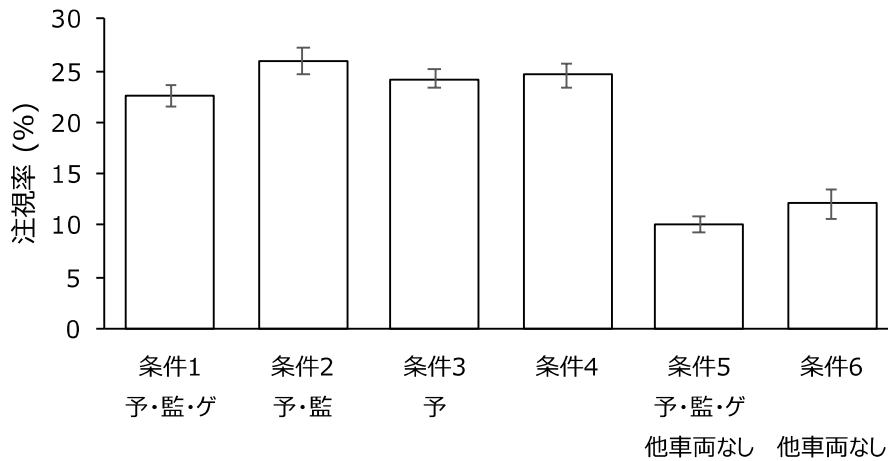


図 2-11 運転引継直後 10 秒間のサイドミラー注視率

### 運転引継直後 10 秒間のルームミラー注視率

ルームミラー注視率の結果を図 2-12 に示す。条件名下の文字は操作された要素を示す(予=予告、監=監視、ゲ=ゲート)。エラーバーは標準誤差を示す。

条件 1~4 のルームミラー注視率は、ほぼ同じであった。

引継後10秒間のルームミラー注視率 (%)

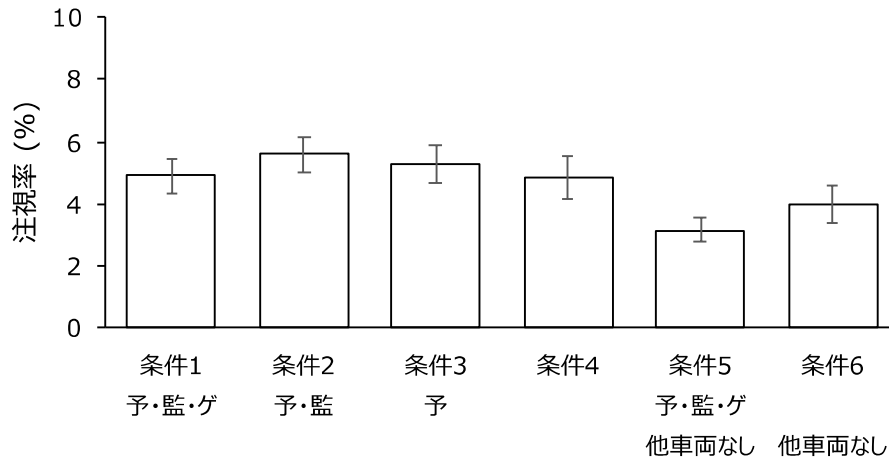


図 2-12 運転引継直後 10 秒間のルームミラー注視率

運転引継直後 10 秒間の計器その他注視率

計器その他注視率の結果を図 2-13 に示す。条件名下の文字は操作された要素を示す（予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート）。エラーバーは標準誤差を示す。

条件 1 と条件 2 の計器その他注視率は、他の条件に比べて低かった。

引継後10秒間の計器その他注視率 (%)

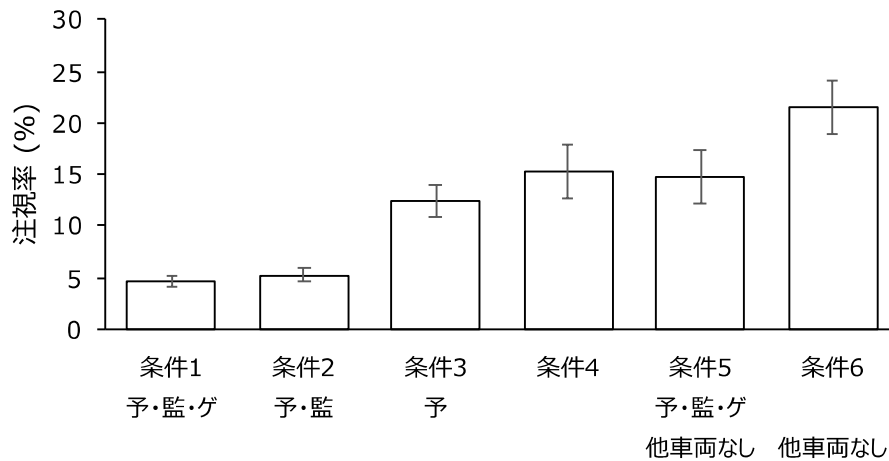


図 2-13 運転引継直後 10 秒間の計器その他注視率。

結果より、前方注視率は引継前の運転監視とゲートによる引継位置の視覚的表示により高くなること、反対に計器その他注視率は引継前の運転監視とゲートによる引継位置の視覚的表示により低くなることがそれぞれ示された。その理由の第一は、自動運転中に行なっていた非運転課題から運転課題への切り替

えに要した時間（例えば、手に持っていたタブレット PC を置く際に手元や置き場所を注視していた時間）が影響していると思われる。ただ一方で、サイドミラー注視率およびルームミラー注視率には条件差が見られなかった。このことから、運転課題への切り替えに際して安全確認の時間を失った場合、前方の視認が優先して犠牲にされ、側・後方の視認が維持されることがわかる。ただし運転監視のない条件の方が車線変更のスムーズさ・安全さともに良くなかったことと併せて考えると、犠牲となった前方注視率（および計器その他注視率）と引継後の運転パフォーマンスの間に何らかの関係性があるものと推察され、これらが運転行動の予測因子となる可能性が示唆された。

### 運転引継後の視認行動（頭部運動計測）

さらに、簡便な方法での視認行動計測として、頭部運動計測を実施した。頭部運動は実験開始前の較正において、正面の映像表示ディスプレイ中央と正対した際の値を 0 とし、そこから頭部正面がいずれの方向にも 10 度以上ずれていなければ「正対」とみなし、運転引継直後から 10 秒間の正対率を算出した。なお分析には頭部運動計測データがいずれの条件においても欠損のなかった 25 名分を用いた。結果を図 2-14 に示す。条件名下の文字は操作された要素を示す（予＝予告、監＝監視、ゲ＝ゲート）。エラーバーは標準誤差を示す。

結果より、条件 1 と条件 2 の頭部正対率は条件 3 と条件 4 に比べて高く、運転引継前 1 分間の運転監視が、運転引継直後のドライバーの頭部正対率を高める可能性が示唆された。

引継後10秒間の頭部正対率 (%)

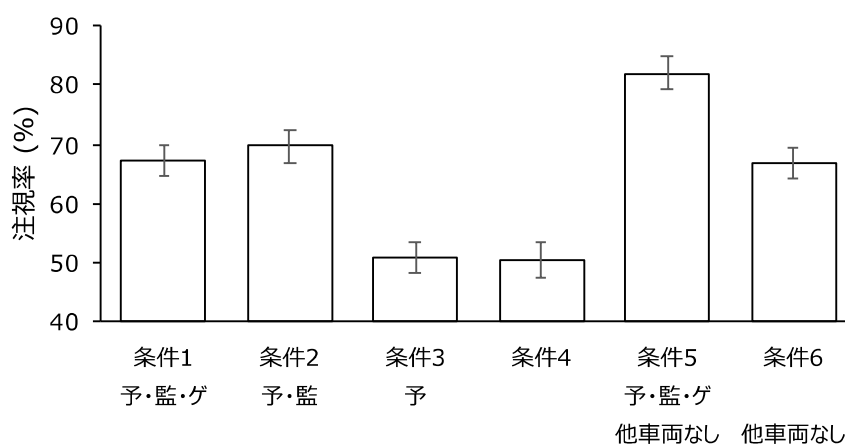


図 2-14 運転引継直後 10 秒間の頭部正対率

## 2.1.2. 運転監視時の視認行動

### 運転監視時の視認行動 (アイトラッカーによる視線計測の結果)

自動運転システム利用時の運転監視におけるドライバーの標準的な視認行動を明らかにするため、視認行動をアイトラッカーによる視線計測結果から検討した。視対象を前方、サイドミラー、ルームミラー、計器その他に分類し、それぞれに対する運転引継直後 10 秒間の注視率を算出した。

### 運転監視時の前方注視率の推移

前方注視率の結果を図 2-15 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。ゲートの有無 (あり、なし) と時間経過 (0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、0-40 秒、40-50 秒) からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果、ゲートの有無の主効果は有意ではなく、時間経過の主効果は有意であり、条件 1 と条件 2 とも 30 秒までは前方注視率が増加することが示された。

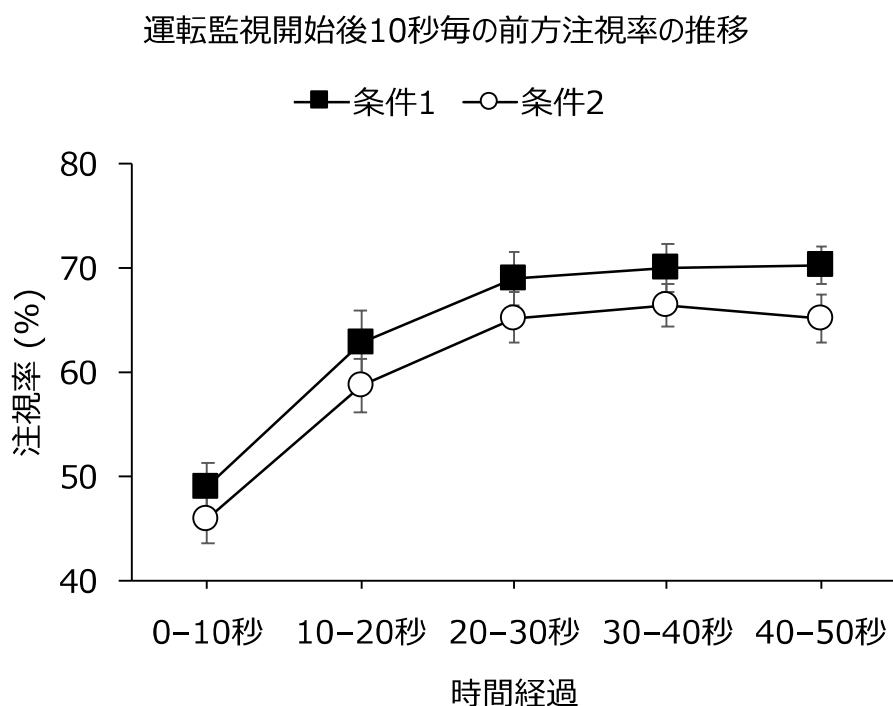


図 2-15 運転監視のある 2 条件における監視開始後 10 秒毎の前方注視率の推移

### 運転監視時のサイドミラー注視率の推移

サイドミラー注視率の結果を図 2-16 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。ゲートの有無 (あり、なし) と時間経過 (0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40

秒、40-50 秒) からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果、ゲートの有無と時間経過の主効果は有意ではなく、サイドミラー注視率にゲートの有無と時間経過に伴う変化は見られなかった。

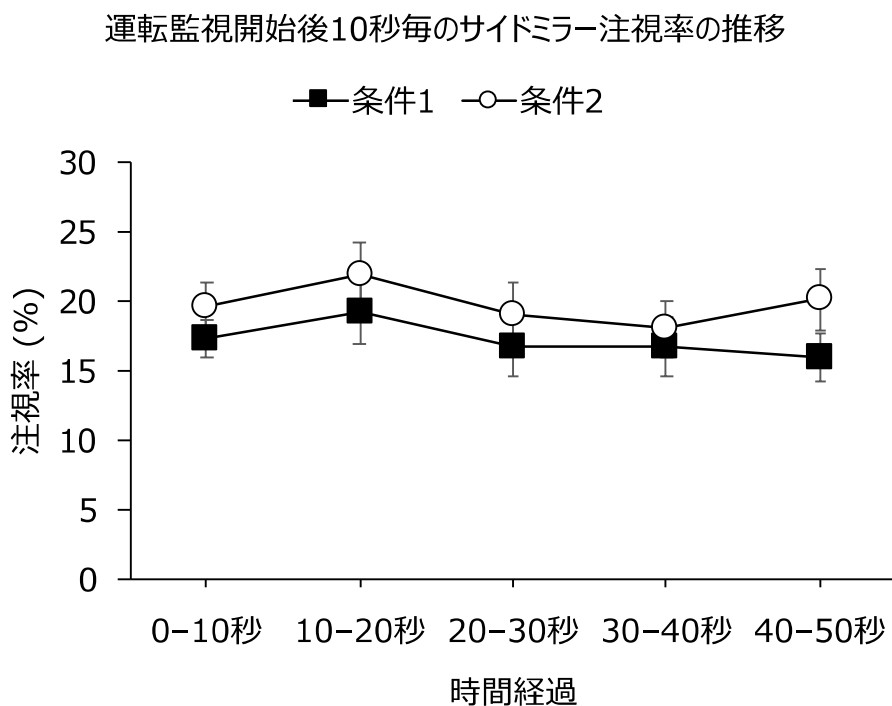


図 2-16 運転監視のある 2 条件における監視開始後 10 秒毎のサイドミラー注視率の推移

#### 運転監視時のルームミラー注視率の推移

ルームミラー注視率の結果を図 2-17に示す。エラーバーは標準誤差を示す。ゲートの有無 (あり、なし) と時間経過 (0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40 秒、40-50 秒) からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果、ゲートの有無の主効果は有意ではなく、時間経過の主効果は有意であり、どちらの条件でも 10-20 秒でのルームミラー注視率が高かった。



運転監視開始後10秒毎のルームミラー注視率の推移

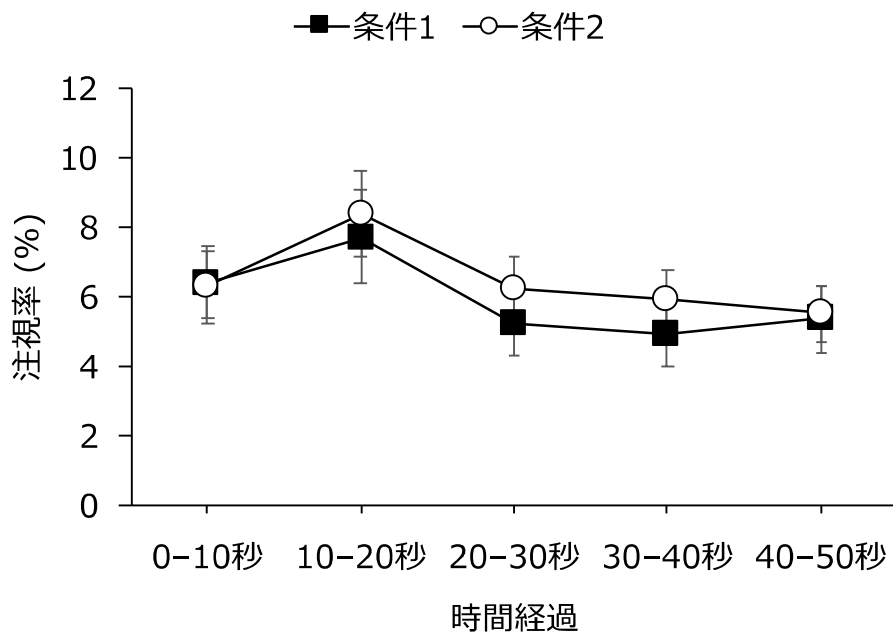


図 2-17 運転監視のある2条件における監視開始後10秒毎のルームミラー注視率の推移

#### 運転監視時の計器その他注視率の推移

ルームミラー注視率の結果を図 2-18 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。ゲートの有無（あり、なし）と時間経過（0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40 秒、40-50 秒）からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果、ゲートの有無の主効果は有意ではなく、時間経過の主効果は有意であり、0-10 秒の計器その他の注視率が高かった。

運転監視開始後10秒毎の計器その他注視率の推移

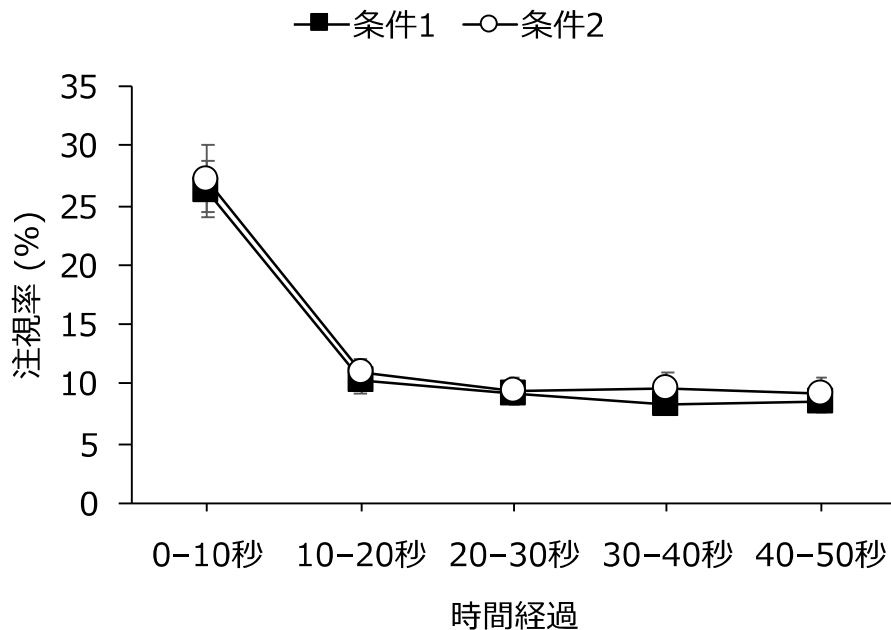


図 2-18 運転監視のある 2 条件における監視開始後 10 秒毎の計器その他注視率の推移

これらの結果より、運転監視開始直後の前方視認の割合は低く、時間経過に伴って前方視認の割合が 7 割程度になるまで増加（相対的に前方以外の注視率は減少）し、安定し横ばいになるまでには監視開始後 20 秒程度かかることがそれぞれ示された。

#### 運転監視中の視認行動（頭部運動計測の結果）

さらに、簡便な方法での視認行動計測として、頭部運動計測を実施した。頭部運動は実験開始前の較正において、正面の映像表示ディスプレイ中央と正対した際の値を 0 とし、そこから頭部正面がいずれの方向にも 10 度以上ずれていなければ「正対」とみなして運転監視開始直後から 10 秒毎の正対率を算出した。なお分析には頭部運動計測データがいずれの条件においても欠損のなかった 27 名分を用いた。結果を図 2-19 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。

運転監視開始後10秒毎の頭部正対率の推移

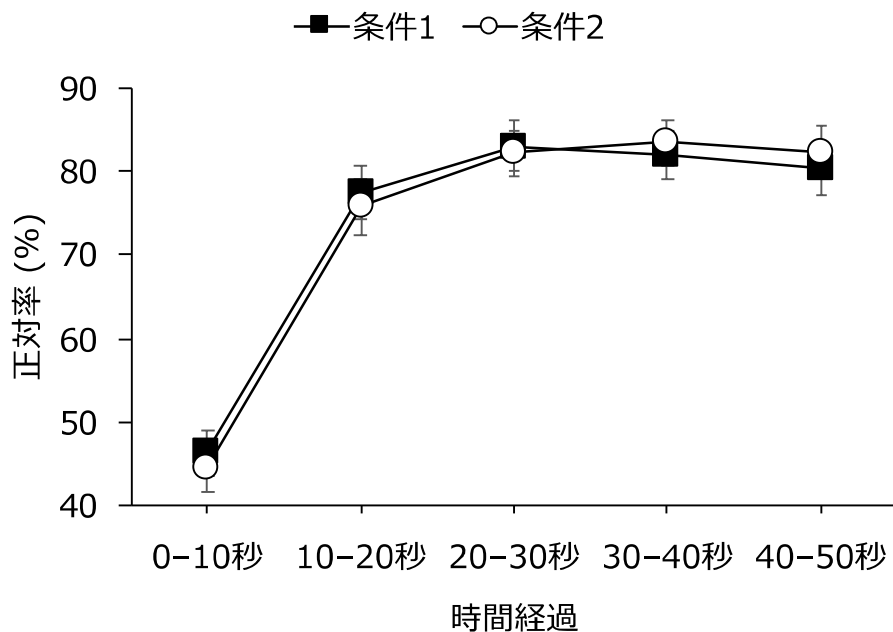


図 2-19 運転監視のある2条件における監視開始後10秒毎の頭部正対率の推移

ゲートの有無 (あり、なし) と時間経過 (0-10 秒、10-20 秒、20-30 秒、30-40 秒、40-50 秒) からなる繰り返しのある二要因分散分析の結果、ゲートの有無の主効果は有意ではなく、時間経過の主効果は有意であった。結果より、視線計測と同様の傾向、運転監視開始直後の前方視認の割合は低く、時間経過に伴って前方視認の割合が7割程度になるまで増加し、横ばいになるまでは監視開始後10秒から20秒程度かかることが示された。

## 考察

### 運転引継後の運転行動

本研究の目的は、ODD 遷移による運転引継事態における、ドライバーのパフォーマンスを向上させる適切な引継手法の探索であった。まず他車両が存在しない条件の方が、存在する条件よりも素早く車線変更を完了することが示された。また、他車両が存在する場合は、運転引継前から運転監視を開始する条件の方が、運転監視をしない要件よりも素早く車線変更を完了することが示された。ただし、他車両が存在しない場合でも、監視を開始する条件の方が、監視を開始しない条件よりも、同程度に素早く車線変更を完了していることから、

---

---

監視ありによる車線変更時間の短縮効果は、運転監視の開始に伴って、テトリスをプレイしていたタブレット PC を運転引継より前から手放していたため、素早く運転操作ができたためであると考えられる。なお、運転監視を開始する条件では、ゲートによる車線変更完了までの時間短縮効果は認められなかった。また、運転監視を開始しない条件では、事前に運転引継を予告しても車線変更完了までの時間短縮効果は認められなかった。さらに、他車両が存在する場合は、事前に運転引継の予告がある条件の方が、予告がない条件よりも安全に車線変更できることが示された。さらに、予告に加えて事前の運転監視とゲートの存在が重複した場合に、もっとも安全に車線変更できることが示された。したがって、運転引継の 1 分前から運転監視を開始すると安全に車線変更が可能となり、ゲートが存在することでその安全性が高まると考えられる (表 2-2)。

表 2-2 他車両のある条件における運転引継後のパフォーマンス向上効果  
(数値はパフォーマンス向上が期待される要素を含まない条件 4 との差分)

比較した条件 パフォーマンス向上が期待される要素		条件1 - 条件4 予告+監視+ゲート	条件2 - 条件4 予告+監視	条件3 - 条件4 予告
<b>運転引継のスムーズさ</b>				
反応時間	運転引継後何らかの自動運転操作が開始されるまでの時間 (秒)	-1.6 ****	-1.2 ****	-0.1 n.s.
<b>運転引継後の視認行動</b>				
前方注視率	運転引継直後10秒間に進行方向を注視していた時間の割合 (%)	+12.5 ****	+8.3 *	+2.5 n.s.
頭部正対率	運転引継直後10秒間に頭部が進行方向と正対していた時間の割合 (%)	+10.4 ***	+10.0 ***	+2.7 n.s.
<b>車線変更のスムーズさ</b>				
車線変更所要時間	車線変更完了までに要した時間 (秒)	-1.7 **	-1.2 †	-0.1 n.s.
車線変更所要距離	車線変更完了までに走りしなけりばならなかつた距離 (m)	-22.7 *	-16.3 n.s.	-3.8 n.s.
車線変更余裕距離	車線変更完了時点で車線変更禁止となる地点までどれだけ猶予があつたか (m)	+24.7 **	+18.5 †	-1.7 n.s.
<b>車線変更の安全性</b>				
車線変更未実施率	車線変更できずに分岐地点を通過してしまつた走行の割合 (%)	-10.2 **	-8.2 *	-7.2 †
車線変更時衝突率	車線変更時に他車両に衝突してしまつた走行の割合 (%)	-6.0 **	-2.0 n.s.	-3.7 n.s.
車線変更違反率	車線変更禁止区間に入ってから車線変更を行つた走行の割合 (%)	-1.3 n.s.	-2.5 n.s.	+2.6 n.s.
車線変更失敗率	車線変更で何らかの問題があつた走行の割合 (未実施 or 衝突 or 違反) (%)	-14.6 ****	-10.6 *	-6.6 n.s.

\*\*\*\*  $p < .001$ , \*\*\*  $p < .005$ , \*\*  $p < .010$ , \*  $p < .050$ , †  $p < .100$  (Holm 法による多重比較補正後の値)

### 運転引継前の運転監視行動

本研究のもう一つの目的は、自動運転レベル 2 相当を使用するドライバーの運転監視状態 (いわゆる OEDR) を評価する手法の開発に利用できる人間計測指標を探索することであつた。そこで、本実験における運転引継の 1 分前に運転監視を求めた 2 条件 (条件 1 および 2) における、運転監視中の視線行動と頭部運動に注目し、その時間的変化を検討した。その結果、以下の 4 点がそれ

---

---

ぞれ示された。

- (1) 運転監視開始直後はサイドミラーなどを注視する頻度が高くなり、相対的に前方注視率が低くなる。
- (2) 運転監視開始後、時間経過に従って前方注視率が徐々に高くなる。
- (3) 運転監視開始後 30 秒程度で前方注視率の上昇は止まり、その後は前方 7 割・周辺 3 割程度の注視割合で安定する。
- (4) 頭部運動の計測によっても上記 3 点のおおよその傾向を検出可能である。

この結果より、以下のようなドライバー状態の時間的推移が運転監視時には起きていると考えられる。まず運転監視開始直後、ドライバーは周辺環境についての情報を全く持たないため、積極的に頭部運動を伴う視線移動を行なって、周辺情報の収集に務める過程を経る必要がある。運転監視開始直後に前方注視率が低くなったのはそのためであると考えられる。そしてこの周辺情報を持たない状況で運転引継を求められた場合、安全に車両を制御することは難しいことが予想される。次に、注視行動が安定するまでに運転監視開始後 30 秒程度を要することから、運転監視を開始してから実際に運転引継を行うまでに少なくとも 30 秒程度の猶予時間がドライバーにとっては必要である可能性が示唆される。実際に、実質的な猶予時間が 0 であった本実験における引継前に運転監視を行わない条件（条件 3 および 4）では、たとえ事前に運転引継があることを予告されていても、車線変更課題の成績は向上しなかった。このことは、引継があるという心がまえだけでなく、実際に周辺の環境がどうなっているかを理解しているか否か、つまりドライバーの OEDR 状態が適切であることが重要であることを示唆している。従って、本実験で取り扱った一部の ODD 遷移のように、どのタイミングで引継が行われるか事前に分かっている状況（例えば高速道から一般道へ降りる際）においては、引継に先行して運転監視を行い、かつその際の視行動がある程度安定するのを待ってから引継を行うのが、最適な引継方法であると考えられる。

また、ドライバーが理想的な運転監視状態にあるかを判断するための人間計測指標の基準値として、前方注視割合 7 割・周辺注視割合 3 割という基準が利用できる可能性が示された。前述の通り、運転監視開始後 30 秒程度経過した後は、前方 7 割・周辺 3 割程度の注視割合で安定した。これは、周辺環境の理解状態が十分となった後、その状態を維持するための視行動を反映していると

---

---

---

考えられる。従って、この安定状態からの逸脱していないかどうかを判定することで、ドライバーが運転引継可能な状態にあるかを判断することができると考えられる。今後はこの知見の妥当性を高めるため、更なる検証実験を行う予定である。

ただし、本実験では運転監視開始後、引継までに1分程度の時間的余裕が常にある条件での計測しか実施していない。従って、実験参加者は1分後の引継までに周辺環境の理解をすればよく、例え早く環境理解をすることが可能であったとしても猶予時間を使ってゆっくりと監視を行っていた可能性は否定できない。従って、猶予時間30秒という絶対値に意味はなく、運転監視開始後の注視行動安定を待って引継を行うべき、という時間経過と注視行動安定の関係性が示された点にのみ注目すべきである(ただしこの関係性についても探索的検討の結果であるので、更なる検証が必要である)。今後は、時間的余裕がない場合に、最短でどのくらいの時間内に周辺環境理解を完了させられるか(すなわち、注視行動が安定するまで最短で何秒必要か)を、余裕時間を連続的に変化させる実験により検討する必要がある。また、注視行動が安定する前の段階での運転引継が本当に難しいかどうかの直接的証拠はまだない。これについても、今後の余裕時間を変化させる実験において、余裕時間が極端に短い条件を設定して検討し、その影響の程度を明らかにする必要がある。加えて、注視行動安定までに必要な時間および前方注視割合によるドライバー状態評価には個人差の影響が大きい可能性にも注意しておく必要がある。ただし個人差の検討を行うには多くのサンプル数の実験が必要であり、十分な検討はできてない。この課題については、今後の実験において対応する計画である。

---

---

### 2.1.3. Attentive 評価における視認行動の詳細分析

#### 方法

##### 注視位置、注視持続時間、視線移動の検出

引継ぎ予告から運転引継ぎ直前までの 50 秒間を 5 区間に分け、各視対象（前方、ルームミラー、サイドミラー）に対して注視していたかどうかを毎秒 30 フレームで取得した各区間のアイトラッカー映像から検出した。また前方に関しては、走行環境の詳細を把握する小さな視線移動を分析するため、視線が左レーン、中央レーン、右レーンのいずれに向いているかについても分けて集計した。なお視線移動を行う際に生じる代表的な眼球運動であるサッカード（跳躍眼球運動）は、一般に、一度移動してから次の移動が起きるまでに 200 ミリ秒程度の間隔が生じることが知られている。したがって、6 フレーム（約 200 ミリ秒）未満の注視は計測誤差とし、注視として集計しなかった。また注視が瞬目により中断された場合、瞬目後も同じ視対象を注視していた場合には、連続した 1 回の注視としてカウントした（ただし瞬目の時間は注視持続時間から除外した）。

#### 結果

##### 注視の頻度と持続時間

引継ぎ予告から運転引継ぎ地点までの 50 秒間を 10 秒ごとに 5 区間に区切り、各視対象（前方、ルームミラー、サイドミラー）に対して視線を向けた回数と 1 回の注視あたりの持続時間を検討した。引継ぎ予告から 10 秒毎の平均停留回数と注視時間を図 2-20 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。



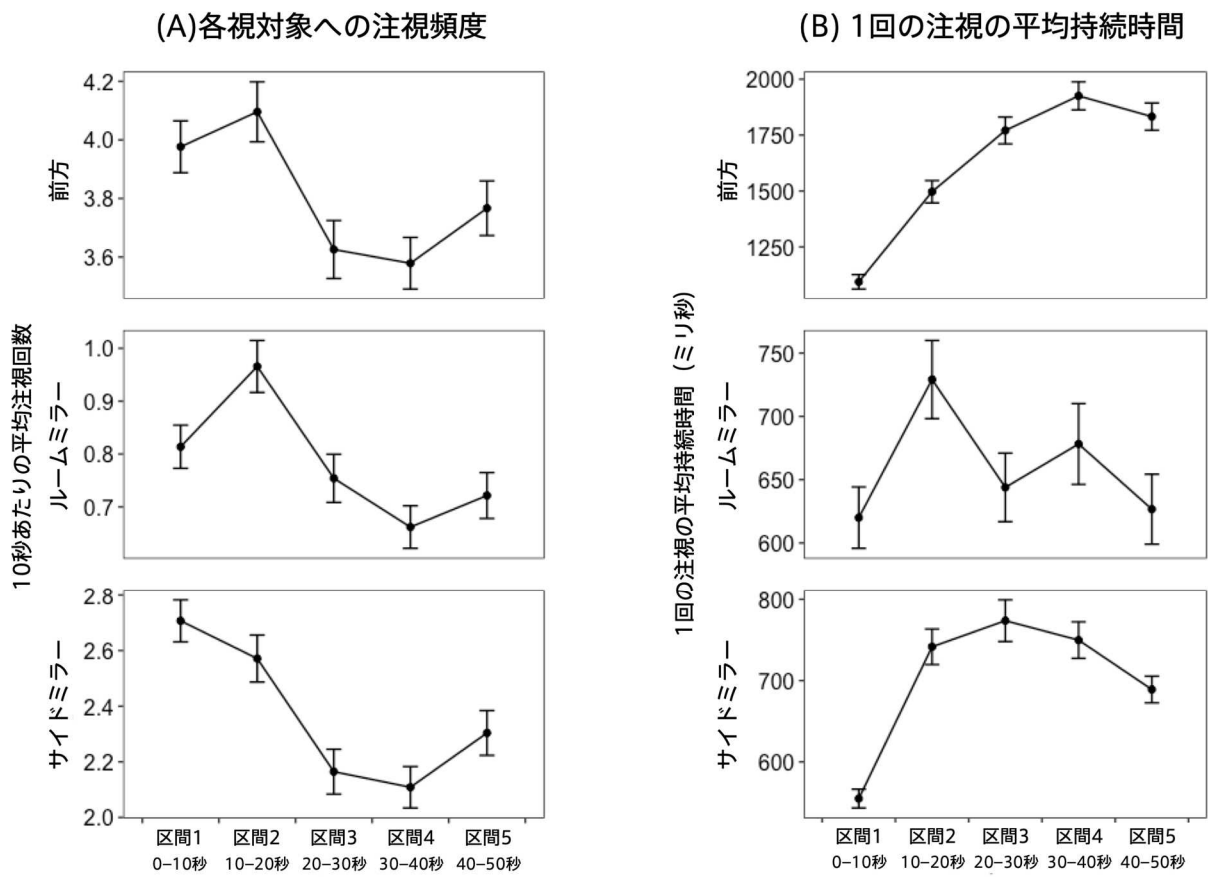


図 2-20 引継ぎ予告から 10 秒毎の (A) 注視頻度と (B) 注視持続時間

前方に視線を向ける頻度は、区間 1 よりも区間 3・4、区間 2 よりも区間 3・4 の方が低かった。前方への注視の持続時間は、区間 1 よりも区間 2・3・4・5、区間 2 よりも区間 3・4・5 の方が長かった。すなわち前方に対しては、周辺監視開始直後から 20 秒程度は短い注視が高頻度で行われ、その後は長い注視が低頻度で行なわれていたことが示された。

ルームミラーに視線を向ける頻度は、区間 2 よりも区間 3・4・5 の方が低かった。ルームミラーへの注視の持続時間は区間による違いはなかった。すなわち、周辺監視開始後 20 秒までの注視が高頻度で行われ、その後、注視が少なくなっていくことが示された。

サイドミラーに視線を向ける頻度は、区間 1 よりも区間 3、4、5、区間 2 よりも区間 3、4 の方が低かった。サイドミラーへの注視の持続時間は、区間 1 よりも区間 2・3・4・5 の方が長かった。すなわち、周辺監視開始直後 10 秒程度は短い注視が高頻度で行われ、次の 10 秒では頻度は変わらず注視時間が長くなり、その後は注視頻度が低くなっていくことが示された。

---

---

## 視線移動頻度

引継ぎ予告から運転引継ぎ地点までの 50 秒間を 10 秒ごとに 5 区間に区切り、視線移動回数を検討した。その際、走行環境の詳細を把握するための視行動を反映すると考えられる小さい視線移動（右車線の先行車から左車線の先行車への視線移動など、前方映像内での細かい視線移動）と、より広く周辺環境を把握するための視行動を反映すると考えられる大きい視線移動（ミラーからミラーへの視線移動など、視対象の間の大きな視線移動）を分けて算出した。平均視線移動回数を図 2-21 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。

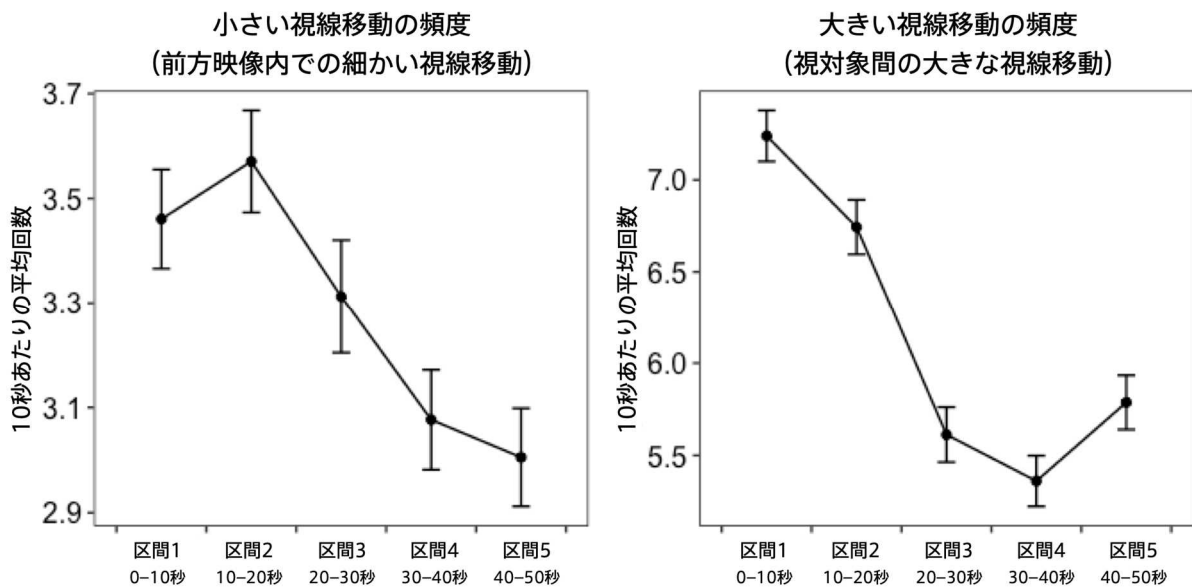


図 2-21 引継ぎ予告から引継ぎまでの周辺監視期間における平均視線移動回数

小さい視線移動頻度は、区間 1 よりも区間 5、区間 2 よりも区間 4・5 の方が低かった。大きい視線移動頻度は、区間 1 よりも区間 3・4・5、区間 2 よりも区間 3・4・5 の方が低かった。すなわち、視線移動はその大小を問わず周辺監視開始から 20 秒程度までは多く行われ、その後頻度が低くなることが示された。

---

## 考察

今年度は昨年度得た実験データより、周辺監視を開始してから運転引き継ぎを実施する直前までの注視頻度・持続時間、視線移動頻度を新たに抽出し、周辺監視中のドライバーの注視行動の特徴を明らかにすることを目指した。

まず注視頻度・持続時間の分析より、周辺監視開始から 20 秒までは高頻度で長いミラー確認行動が多いことが示された。これは、周辺監視開始直後は側方・後方の状況が分からないため、その把握を目指したものと考えられる。また、その後ミラーへの注視は少なくかつ短くなったが、これは側方・後方の状況を把握できた状態を反映するものと考えられる。前方確認行動は、周辺監視開始から 20 秒までは高頻度で短い注視が多かった。これはミラー確認行動が多かった時間帯と重なるため、側方・後方の状況理解のために前方注視が疎かになっている状態を示すと考えられる。その後、ミラー確認行動の減少に伴い、長く持続する前方注視が行われるようになった。これは周辺の状況を把握できた後の安定状態に達したことを示すものと考えられる。

本年度の分析結果は、周辺監視開始からドライバーが周辺の状況を把握して安定状態に達するまで 20 秒程度を必要とするとする昨年度の分析結果と整合するもので、その結論を補強するものであるといえる。また昨年度報告した時間あたりの注視率および頭部正対率に加えて、新しい指標（注視頻度、注視時間、視線移動頻度）によっても OEDR 状態評価に利用できる可能性が示された。新指標は昨年度示した指標に比べて、計測・分析の技術的ハードルは高いものが多いが、周辺監視開始後 20 秒程度から急峻な変化を示す指標もあり、周辺理解の安定状態の検出においてより高感度である可能性がある。また個人差や状況によるばらつきの大きい人間計測指標においては、複数指標による多角的な評価が有効な場合もあり、利用可能な指標が増えたことは今後の OEDR 評価手法の確立に向けての好材料となると期待される。

### 2.1.4. 計画的遷移時の Attentive フェーズの最適条件の検討

SAE の定義でレベル 3 や 4 に分類されるような比較的高度な自動運転システム (SAE International, 2014, 2021) は、自ら走行環境を認識し反応し (Object and Event Detection and Response; OEDR)、動的な運転操作 (Dynamic Driving Task; DDT) を担う。したがってその利用時にドライバーは運転に関わる活動から解放され、運転に関連しない活動 (Non-Drive Related Activity; NDRA) を

---

---

---

その車内ですることができる。ただし、ドライバーは以下の2つのタイミングにおいて、再び運転操作に関わる必要がある (United Nations Economic Commission for Europe, 2021)。一つはシステムの不調や走行環境の悪化により自動運転の継続ができなくなった場合 (unplanned transition) である。この場合のシステムからドライバーへの運転引継に関わる諸問題についてはこれまで多くの先行研究があり、SIP-adus でも第1期において、その危険性の把握と安全をサポートする Human-Machine Interface (HMI) の可能性について検討された。これに対し、もう一つのタイミングは、その自動運転システムの利用可能区域を離れる場合 (計画的遷移; planned transition) で、例えば高速道路上のみで利用可能なシステムとして設計されている場合、高速道路出口で一般道と接続するタイミングなどがこれに相当する。この計画的遷移ではシステムの不調などの差し迫った危険がないため、その安全性についてこれまであまり重要視されてこなかったが、システムの利用時にはトラブル等がなくとも必ず直面することになる、最も頻発する遷移であり、そこでのリスクの所在の確認と安全性の向上は重要な研究課題であると考えられる。

これまでの実験により、運転引継の直前まで NDRA を継続すると引継後の運転パフォーマンスに悪影響を与える可能性があることを示した。さらに、運転引継の少し前にそろそろ運転引継がある旨を告知しても、NDRA を継続していた場合にはその悪影響は回避できないことも示した。そして、その悪影響を回避するには、告知のタイミングで NDRA をやめ周辺道路環境を監視するよう要請する、RtM (Request-to-Monitor) プロトコルを実施することが有効であることを示した。

残された課題は、RtM プロトコルの適切な開始タイミングを示すことであった。昨年までの実験では運転引継の約1分前に RtM プロトコルを開始していたが、あまりに早すぎるプロトコルの開始は、ドライバーに負担を強いることになり、自動運転システムのサービス価値を下げってしまう可能性が指摘できた。一方であまりに遅すぎるプロトコルの開始は、必要な周辺監視ができず、十分な効果が得られないと考えられた。

そこで本実験では、RtM プロトコルの開始タイミングを実験的に操作し、適切な開始タイミングを探索した。昨年度までの知見より、周辺監視時の視行動は監視開始後20秒程度から安定し始めることから、運転引継の20秒前から RtM プロトコルを開始することで十分な効果を得られると予想された。

---

---

---

---

## 方法

### 実験参加者

参加者は 30 名（女性 15 名、男性 15 名、年齢範囲 20–59 歳）であった。参加者の募集にあたっては、20 代、30 代、40 代、50 代の参加者数および男女比がおおよそ均等になるように調整した。全員が、視力が正常か正常程度に矯正されていること、乗り物酔いの経験がほとんどないこと、現役の職業ドライバーでないこと、過去 3 ヶ月間に週 1 日以上車を運転していることを確認した。各参加者は計 6 条件の課題を 1 日 1 条件ずつ 6 日かけて実施した。日程が合わず 5 条件しか実施できなかった 1 名分を除く、29 名分をデータ分析対象とした。

### 実験装置

実験は定置型ドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン社製）を使用して行われた。これは制御用ソフトウェア（三菱プレジジョン社製 D3Sim）、1 台のホストコンピュータ、6 台の映像出力用コンピュータにより制御され、運転席の前方、左前方、右前方、左側方、右側方に設置された 75 インチ型液晶ディスプレイ（SHARP 社製 PN-HB751）に模擬走行映像が表示された。また後方には 70 インチ型液晶ディスプレイ（Panasonic 社製 TH-70LF50J）が設置され、ルームミラー越しに見た際に車両後方の自然な模擬走行映像が見られるよう調整された。またサイドミラーは電子式で、運転席の左右に 7 インチ型液晶ディスプレイ（ADTECHNO 社製 LCD7620）が設置され、左右側後方の模擬走行映像がそれぞれ表示された。ハンドルやアクセル・ブレーキペダルなどの操作は、毎秒 120 回の頻度でホストコンピュータに記録された。

自動運転中に実施したドライバーの NDRA には、パズルゲームを用い、タブレット PC（Microsoft 社製 Surface Pro）上で実行された。実験参加者の視認行動計測にはダッシュボードおよび左右サイドミラーに取り付けたカメラにより撮影した映像を用いた。

### 手続き

実験では、ODD 遷移と運転引継が発生する約 5 分間の走行シナリオを設定した。まず片側 3 車線の自動車専用道の中央車線を時速約 65 キロで自動走行した。実験参加者は、自動運転中は常にタブレット PC を使用してパズルゲーム（NDRA）をプレイした。なお、NDRA のプレイ中は走行映像表示用ディスプレイを一面グレーにして、周辺走行環境を見れないようにした（走行音は通常通り提示した）。自動走行開始から一定時間後（70–160 秒；シナリオ毎に異なる）に ODD 遷移に伴う運転引継が発生させ、一定時間内（12–21 秒；シナリ

---

---

---

---

オ毎に異なる)に運転引継と同時に表示される進路案内板の表示(東京方面)に従って左右どちらかの車線への手動運転操作による車線変更を求めた。運転引継地点から一定距離(200-400 m; シナリオ毎に異なる)進んだ地点から黄色のセンターラインを設置し、参加者にはできる限りこの地点に到達するより前に車線変更を完了するよう求めた。走行シナリオは周辺車両の位置、自動運転開始から運転引継が発生するまでの間隔、車線変更可能区間の長さが異なる10種類を用い、各シナリオ走行中の視認行動を毎秒30回の頻度で計測した。

## 実験条件

運転引継発生前の5秒、10秒、20秒、55秒前にNDRAをやめて周辺道路環境の監視を求める監視5秒、監視10秒、監視20秒、監視55秒条件と、NDRAを実施している状態から運転引継を求める監視0秒条件、実験シナリオを終始手動で運転するマニュアル運転条件の計6条件を設定した。監視を求める際は「まもなく運転交代」と音声アナウンスを提示した。運転引継を求める際は電子音を提示した。どちらも実験前にその意味を教示し、練習において理解できていることを確認した。マニュアル運転条件ではシナリオ開始直後に運転引継を求めた。ただし実際にはシミュレータはハンドルおよびペダルの入力を受け付けておらず、他の条件と同様に自動で走行した。すべての条件で同じ10種類のシナリオを用いたが、同じであることに参加者が気づかないよう車両の色や車種を条件毎に変更した。

## 結果

### 運転パフォーマンス

#### 運転引継反応時間

運転引継要請が発報されないマニュアル運転条件を除く5条件において、運転引継要請から何らかの運転操作が入力されるまでの時間を運転引継反応時間として算出した。監視0秒条件では他全ての条件よりも運転引継反応時間が長かった。

#### 車線変更課題失敗率

失敗は、衝突(車線変更課題開始後に自車が他車等何らかの物体に衝突する)、違反(車線変更可能区間を通り過ぎた後に車線変更を完了する)、通過(車線変更を実施せずにそのまま直進する)のいずれかに該当する場合と定義した。結果、失敗率はマニュアル運転条件で監視0秒、5秒、10秒、20秒条件よりそれぞれ低かった。また監視55秒条件で監視0秒条件より低かった。各条件にお

---

---

ける平均運転引継反応時間と車線変更失敗率を図 2-22 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。

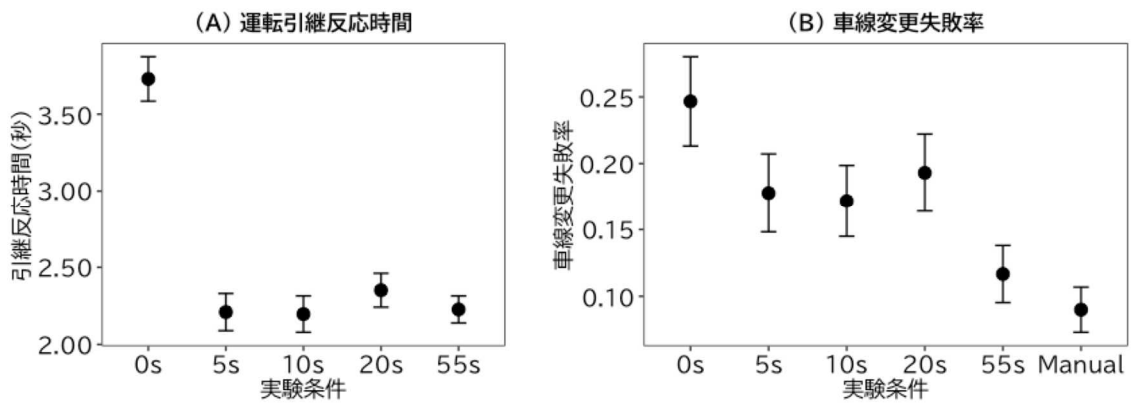


図 2-22 運転引継反応時間(A)と車線変更失敗率(B)

### 周辺監視要請時の視認行動

#### 注視率

周辺監視要請のない監視 0 秒条件を除く 4 条件において、前方もしくはミラー（左右サイドミラー、ルームミラーのいずれか）を注視していた時間割合を 5 秒毎に算出した。またマニュアル運転条件については、監視 55 秒条件と同じ区間を走行中の視認行動を分析対象とした。なお注視は、200 ミリ秒以上持続して同じ対象の範囲内に留まる視線と定義した。各条件における監視開始から 50 秒経過時までの注視率を図 2-23 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。

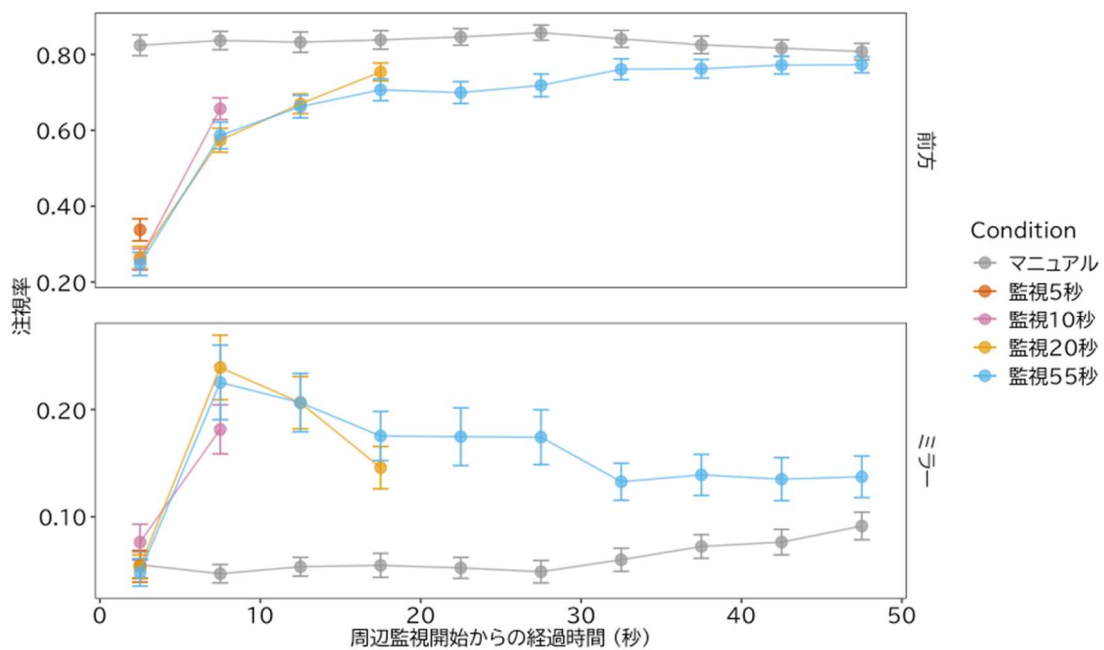


図 2-23 周辺監視開始から 50 秒経過時までの前方およびミラーの注視率の 5 秒毎の推移

---

---

## 前方注視率

周辺監視開始から 5 秒経過するまでの前方注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて高かった。また監視 5 秒条件で監視 10 秒、20 秒、55 秒条件に比べて高かった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までの前方注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて高かった。また監視 10 秒条件では監視 20 秒条件に比べて高かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までの前方注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて高かった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までの前方注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて高かった。また監視 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 50 秒経過時までの 5 秒毎の前方注視率はマニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ高かった。

## ミラー注視率

周辺監視開始から 5 秒経過するまでのミラー注視率は、すべての条件間に違いは認められなかった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までのミラー注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までのミラー注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までのミラー注視率は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 50 秒経過時までの 5 秒毎のミラー注視率は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ低かった。

## 注視頻度

周辺監視要請のない監視 0 秒条件を除く 4 条件において、前方もしくはミラー（左右サイドミラー、ルームミラーのいずれか）への平均注視頻度を 5 秒毎に算出した。またマニュアル運転条件については、監視 55 秒条件と同じ区間を走行中の視認行動を分析対象とした。各条件における監視開始から 50 秒経過時までの平均注視頻度を図 2-24 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。



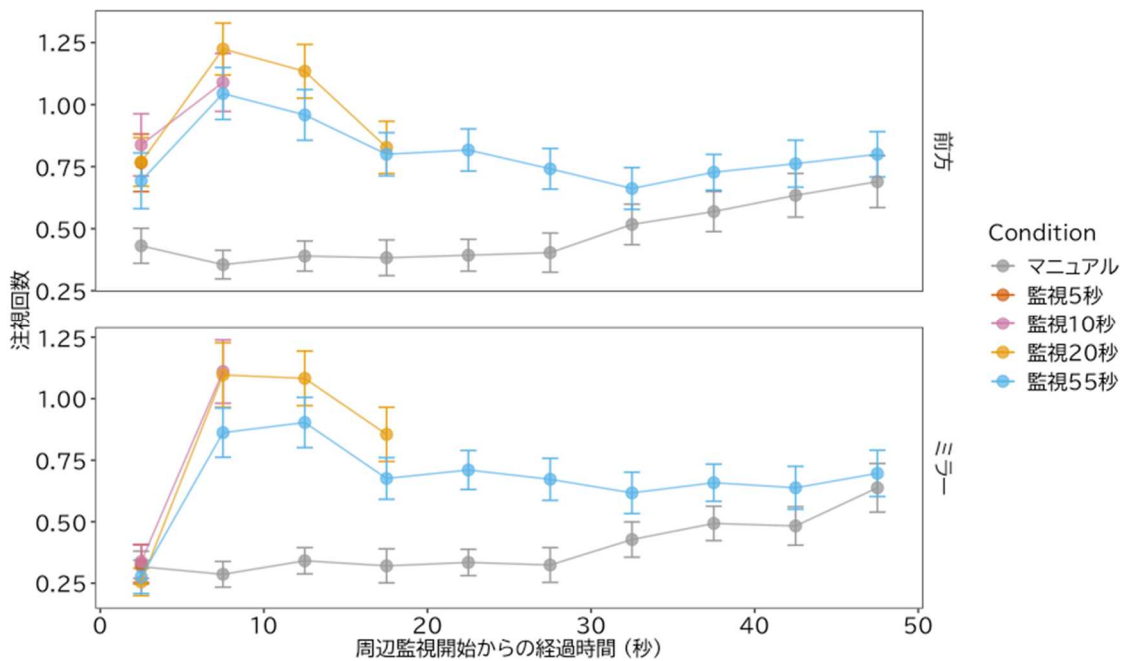


図 2-24 周辺監視開始から 50 秒経過時までの前方およびミラーの注視頻度の 5 秒毎の推移

### 前方注視頻度

周辺監視開始から 5 秒経過するまでの前方注視頻度は、マニュアル運転条件で監視 5 秒、10 秒、20 秒、55 秒条件に比べて低かった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までの前方注視頻度は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までの前方注視頻度は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。また監視 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高い傾向にあった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までの前方注視頻度は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 50 秒経過時までの 5 秒毎の前方注視頻度は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ低かった。

### ミラー注視頻度

周辺監視開始から 5 秒経過するまでのミラー注視頻度は、すべての条件間に違いは見られなかった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までのミラー注視頻度は、マニュアル運転条件でその他の条件に比べて低かった。また監視 10 秒および 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高い傾向にあった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までのミラー注視頻度は、マニュアル運

転条件の前方注視率はその他の条件に比べて低かった。また監視 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高い傾向にあった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までのミラー注視頻度は、マニュアル運転条件の前方注視率はその他の条件に比べて低かった。また監視 20 秒条件では監視 55 秒条件に比べて高かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 50 秒経過時までの 5 秒毎のミラー注視率は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ低かった。

### 注視 1 回あたりの注視持続時間

周辺監視要請のない監視 0 秒条件を除く 4 条件において、前方もしくはミラー（左右サイドミラー、ルームミラーのいずれか）への注視 1 回あたりの平均注視持続時間を 5 秒毎に算出した。またマニュアル運転条件については、監視 55 秒条件と同じ区間を走行中の視認行動を分析対象とした。各条件における監視開始から 50 秒経過時までの注視 1 回あたりの平均注視持続時間を図 2-25 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。

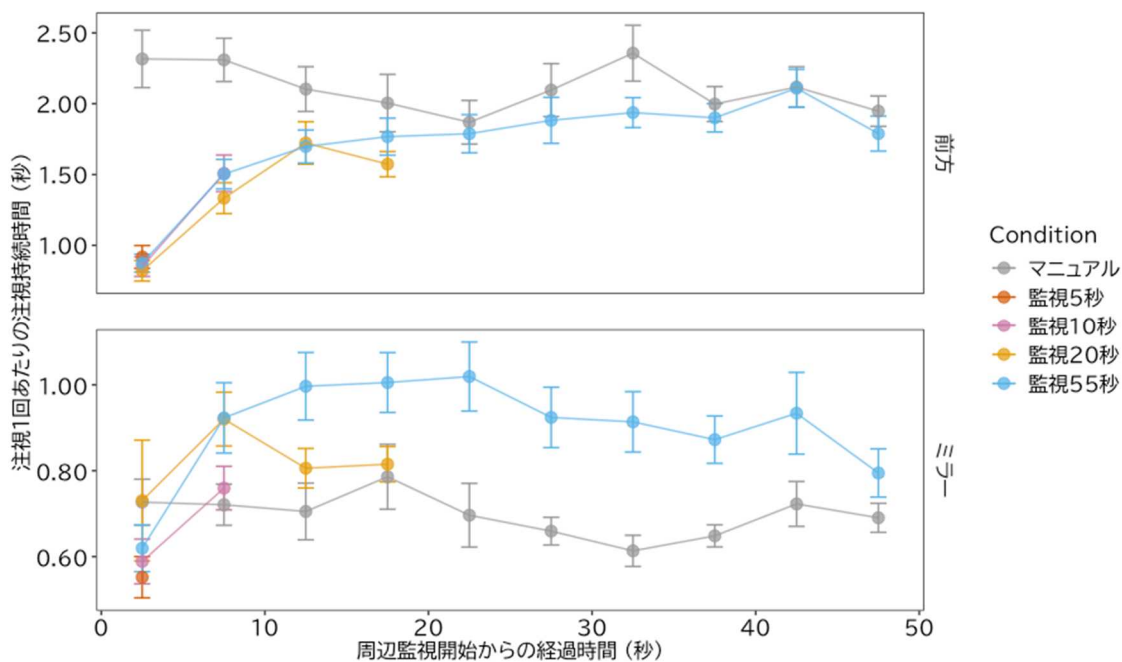


図 2-25 周辺監視開始から 50 秒経過時までの前方およびミラーへの注視 1 回あたりの注視持続時間の 5 秒毎の推移

### 前方注視持続時間

周辺監視開始から 5 秒経過するまでの前方注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 5 秒、10 秒、20 秒条件に比べて長かった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までの前方注視持続時間は、マニュアル運転条件でその他

---

---

の条件に比べて長かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までの前方注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 20 秒条件に比べて長かった。周辺監視開始 30 秒経過時から 35 秒経過時までの前方注視持続時間は、マニュアル運転条件よりも監視 55 秒条件の方が長かった。

### ミラー注視持続時間

周辺監視開始から 5 秒経過するまでのミラー注視持続時間は、すべての条件間に違いはみられなかった。周辺監視開始 5 秒経過時から 10 秒経過時までのミラー注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 20 秒、55 秒条件に比べて短かった。また監視 10 秒条件で監視 55 秒条件よりも短かった。周辺監視開始 10 秒経過時から 15 秒経過時までのミラー注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件に比べて短かった。周辺監視開始 15 秒経過時から 20 秒経過時までのミラー注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件に比べて短かった。周辺監視開始 20 秒経過時から 55 秒経過時までの 5 秒毎のミラー注視持続時間は、マニュアル運転条件で監視 55 秒条件よりそれぞれ長かった。

### 考察

本実験の目的は、RtM プロトコル（自動運転システムからドライバーへの運転引継の際に、事前に NDRA をやめ周辺監視を求める）による引継後の運転パフォーマンス向上効果の再確認と、必要最低限の監視時間の長さを検討することであった。昨年度までの成果より、視行動データから周辺監視開始後 20 秒程度でドライバーが周辺道路環境への理解状態を構築でき、引継後の運転パフォーマンスが向上すると予測された。実験の結果、監視なしで突然運転引継を行う条件に比べて監視時間を 55 秒に設定した条件では運転引継後の車線変更課題における失敗率が低く、昨年まで研究で確認されていた周辺監視時間を設けることの効果が再確認された。しかし、監視時間を 20 秒以下に設定した条件ではこの効果は認められなかった。

周辺監視中の視行動の結果は、この時間設定による監視効果の有無を分けた要因を示唆していた。まず監視開始からの視行動はすべての条件で同じように推移したが、引継直前の 5 秒間では他の条件と乖離する傾向が見られた。具体的に、引継直前の 5 秒間では、前方注視率は高く、ミラー注視率は低くなった。これは運転引継に備えて、広く道路環境全体を把握する視行動を中断し、前方への注意を強化したためと考えられる。また監視時間が 20 秒以下の条件では

---

---

---

---

視行動が慌ただしくなる（注視頻度は高く、注視持続時間は短くなる）傾向が見られた。これは監視時間が短いことを意識したドライバーが周辺環境理解を短時間で終えようとした焦り行動を反映するものと考えられる。これらの要因により、ドライバーが不十分な周辺理解状態で引継を迎えたことが、監視時間が 20 秒以下の条件で監視 0 秒条件に比べて運転パフォーマンスがはっきりと改善しなかった理由であると考えられる。

また本実験では、マニュアル運転条件を設定した。これにより、他の条件において自動運転で走行し監視のみを行う場合との視行動の違いを検討することができた。その結果、マニュアル運転条件での視行動は監視 55 秒条件の監視開始後 20 秒経過以降と近い水準であったが、マニュアル運転条件のほうがより中心指向、すなわち前方注視の比重がやや高く、ミラー注視の比重がやや低いことが示された。

## 結論

RtM プロトコル（計画的遷移の約 1 分前に NDRA をやめ周囲を監視する）の効果が再確認された。ただし、監視時間を 1 分より短くすると明確な効果は認められなくなった。そして、引継直前の 5 秒間は前をよく見る必要があり周囲広く見る余裕がなくなること、監視時間が短い（20 秒）ことが事前に分かっていると焦ったような慌ただしい視行動になり十分な監視ができないことがそれぞれ示された。これらを考慮すると、計画的遷移における引継前の監視時間は、余裕を持って監視ができる長さ（現時点では 1 分程度がよいと考えられる）に設定すべきであることが示唆された。

### 2.1.5. スムーズな運転交代を支援する HMI 要件の検討

これまでの実験結果から、運転引継の前に NDRA をやめて周辺道路環境を監視する引継準備時間を設けることで、引継後の運転パフォーマンスを改善できることが示された。しかし、これはドライバーが RtM に従って適切に準備行動を実行することが前提の効果であり、ドライバーの不適切な応答があった場合、どのような影響が生じるかは明らかではない。不適切な応答としては、例えば、ドライバーが NDRA に熱中しており、RtM の要請通り NDRA をやめない、あるいは一度やめた NDRA を再開してしまうことが挙げられる。効果的な RtM プロトコルの運用のためには、実験 1 で示されたように、発報から運転引継までに十分な時間的ゆとりをもたせる必要がある。この時間的ゆとりが、ドライバーが RtM の要請を軽んじる要因となる可能性が危惧される。そこで本実験

---

---

---

---

では、ドライバーの RtM プロトコルへの応答が不十分な場合に、その効果が維持されるか否かと、よりよく効果を維持するための要請手法について検討した。

まず図 2-1 の実験と同じ RtM プロトコルにおいて、ドライバーがこれに十分に応答しない際に効果が維持されるかどうかを検討した（条件 a）。ドライバーの不十分な応答を引き出す操作として、NDRA として用いたパズルゲームのスコアの高さに応じて追加の謝金を設定し、NDRA を続けることを動機づけた（ただし実際にはスコアの高低によらずすべての参加者に追加の謝金を満額支払った）。

つぎに、ドライバーの RtM への応答が不十分な際によりよく効果を維持するための方策として、まず、RtM 要請のメッセージをより明確にすることの効果を検討した。条件 b ではこれまで「まもなく」と表現していた運転引継までの時間を「約 1 分後に」へ変更した。この変更は 2 つの相反する影響を及ぼす可能性が考えられた。まず、1 分という時間をドライバーが短く捉えた場合、少しでも早く運転引継の準備を始めようという動機が誘発されると考えられた。一方で、1 分を長いと捉えたドライバーは、もう少し時間が経過してから運転引継の準備を始めても間に合うだろうと要請を軽視し、その場合は NDRA を継続しようという動機が誘発されると考えられた。

さらに条件 c では、複数回に分けた RtM メッセージの提示と運転引継 5 秒前からのカウントダウン提示を行った。これは、昨年度までの実験において示された、車外 HMI 効果（運転引継地点を示す道路標識を設置することで RtM プロトコルの効果が向上する）に注目した方策であった。カウントダウン提示は車外 HMI（道路標識）がもたらした、運転引継のタイミングを明確にする効果を車内 HMI で実現したものであり、これによりドライバーの RtM への応答が不十分でも効果を維持することが期待された。

条件 d では、RtM プロトコルにおいてドライバーにハンズオン（ハンドルを把持するが操作は不要）を求めた。これにより NDRA をやめる動機が高まる効果と、引継時にスムーズに運転操作を始められる効果を期待した。

条件 e では、ドライバーが RtM に対して不十分な応答をした際に、警告を発することの効果を検討した。具体的には、RtM 発報後に 5 秒以上前方走行映像から視線を外したドライバーに対し、その瞬間にビープ音で警告した。

条件 f では、ドライバーが RtM に対して不十分な応答をした際に、警告に加えて、車両の緊急停車を予告した。具体的には、実験開始前にビープ音が鳴った後に車両が停止する映像を見せ、ビープ音の警告があってもまだ NDRA を継

---

---

---

---

続するようであれば車両が停止すると教示した。警告の提示は実験 2e と同様の方法で行った。

## 方法

### 実験参加者

参加者は 120 名（女性 60 名、男性 60 名、年齢範囲 20–59 歳）であった。参加者の募集にあたっては、20 代、30 代、40 代、50 代の参加者数および男女比がおおよそ均等になるように調整した。全員が、視力が正常か正常程度に矯正されていること、乗り物酔いの経験がほとんどないこと、現役の職業ドライバーでないこと、過去 3 ヶ月間に週 1 日以上車を運転していることを確認した。参加者は 20 名ずつ 6 つのグループに分けられ、条件 a、b、c、d、e、f にそれぞれ振り分けられた。

### 実験装置

簡易型ドライビングシミュレータ（三菱プレシジョン社製）を用いた。70 インチ型液晶ディスプレイ（パナソニック社製 TH-70LF50J）にドライビング風景と、バックミラーとサイドミラーを介して見える後方視界を投影した。運転データ（ハンドル角度など）は 60Hz で記録した。自動運転中は、自動運転システムが前後、左右の運転制御を行った。自動運転中に実施したドライバーの NDRA にはパズルゲームを用い、タブレット PC (Microsoft 社製 Surface Pro) 上で実行された。実験参加者の視認行動計測にはダッシュボードおよび左右サイドミラーに取り付けたビデオカメラにより撮影した映像を用いた。

### 手続き

本実験で用いた実験シナリオは、実験 1 で用いたシナリオと同じであった。最初にシミュレータの運転練習を行い、その後、RtM なし走行（10 シナリオ）を実施した。ベースライン走行の手続きは実験 1 の監視 0 秒条件と全く同じであった。その後、参加者は所属するグループに応じて 6 つの実験条件のうち 1 つを RtM あり走行（10 シナリオ）として実施した。シナリオの実施順は参加者毎にランダムマイズした。

---

---

## 実験条件

### 条件 a

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と全く同じであった。

### 条件 b

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する際は「60 秒後に運転交代」と音声アナウンスを提示した。

### 条件 c

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する際は「60 秒後に運転交代」と音声アナウンスを提示した。さらに運転引継の 30 秒前に「30 秒後に運転交代」と音声アナウンスを提示した。そして運転引継の 5 秒前から毎秒「5・4・3・2・1」と音声アナウンスでカウントダウンを提示した。

### 条件 d

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する音声アナウンスと同時にハンドルを握るようをドライバーに求めた。ただし運転操作の開始は運転引継要請の提示まで待つように求めた。

### 条件 e

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する音声アナウンスの提示後に、5 秒以上継続して前方走行映像から視線を逸らしていた場合に、ビープ音を提示した。実験前には、監視を要請された後にゲームを続けていた場合は警告される場合があることを教示した。

### 条件 f

RtM あり走行の手続きは実験 1 の監視 55 秒条件と以下の点を除いて同じであった。監視を要請する音声アナウンスの提示後に、5 秒以上継続して前方走行映像から視線を逸らしていた場合に、ビープ音を提示した。またビープ音を提示してからさらに 5 秒以上継続して前方走行映像から視線を逸らしていた場合には車両の走行を停止した。実験前には、監視を要請された後にゲームを続けていた場合は警告される場合があること、警告をしてもさらに続けた場合は車両が停止することを、車両が停止する際のビデオを視聴しながら教示した。

---

---

---

---

## 結果

### 車線変更失敗率

車線変更失敗率はこれまでの実験と同様の方法で算出した。各実験条件におけるベースライン走行と実験走行の失敗率を比較したところ、条件 c、d、e、f で RtM なしの時よりも RtM ありの時の方が失敗率は低かった。結果を図 26 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。

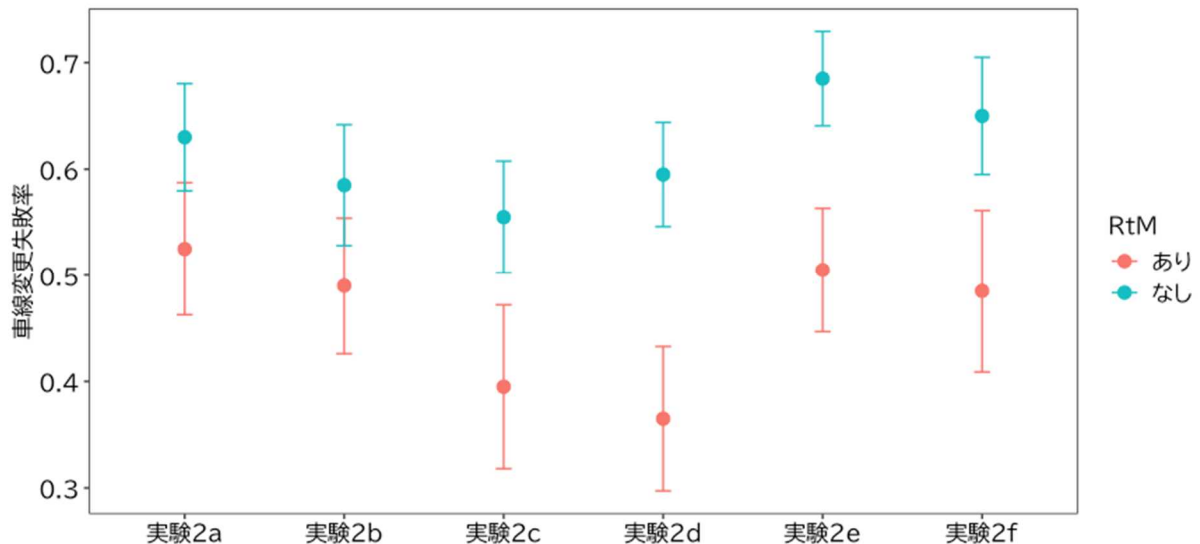


図 2-26 実験 2 における各実験条件での車線変更失敗率

## 考察

本研究の目的は、ドライバーの RtM プロトコルへの応答が不十分な場合に、その効果が維持されるかどうかの検討と、よりよく効果を維持するための要請手法を検討することであった。まず、図 2-1 と同様の要請方法を用いた条件 a では RtM プロトコルの効果は十分ではなかった。このことから、これまでの実験で得られた RtM プロトコルの効果はドライバーが適切に応答した場合に限られることが示唆された。次に、運転引継までの時間を明確にした条件 b、カウントダウン提示により運転引継タイミングを明確にした条件 c では、条件 c でのみ RtM プロトコルの効果が維持された。条件 c のカウントダウン提示の効果は、昨年度までの実験で示されていた車外 HMI (道路標識) が車載 HMI としても実現可能であることを示すものと考えられる。ドライバーにより強く運転引継への準備を促す方策を検討した条件 d、e、f では RtM プロトコルの効果がそれぞれ維持された。

なお、本実験の車線変更失敗率はこれまでの実験に比べて全体的に高かった。これは使用するシミュレータの違いに依存するものと考えられる。本実験で使



---

---

用した簡易型シミュレータはハンドルが小径で操作が難しく、またセンタリングが甘いため手を離した際に車両が直進しない場合があった。したがって、ドライバーは運転引継時にまず車両を安定させることに注力する必要があった。これにより車線変更課題への取り組みが遅れ、その結果として失敗率が高くなったと考えられる。ただし本実験の分析は参加者内要因の相対的比較であるため、失敗率の絶対値の高さが得られた結論に影響することはないと考えられる。

## 結論

RtM プロトコルの効果はドライバーがその要請に適切に応答することを前提するが、カウントダウン、ハンズオン、警告といった工夫を施すことで、ドライバーの応答が多少不適切であっても、効果を維持できる可能性が示された。

### 2.1.6. 視行動による Attentiveness 評価の妥当性の検討

これまでの成果により、周辺監視中のドライバーの視行動により運転引継の安全性を評価できる可能性を示した。しかし視行動によるドライバー状態の推定は比較的新しい試みであり、指標の妥当性については不明な点が多い。実際一度の注視で得られる視覚情報の視野は広く、必ずしも視野の中心に対して注意を払っているとは限らないため、視線計測結果と注意は単純な対応関係になく、状況依存である。そこで本年度の研究では、視行動評価を以前からあるドライバーの監視状態推定の方法と対応させることでその妥当性を検証することを目的とした。

本研究では言語報告法を用いて、視行動との対応を検討した。これはドライバー自身が今何を考えているかを常時発話し、思考内容の変遷を計測する方法である。特に本研究では、時間あたりの発話の量に注目した。発話が多いほど周辺監視が活発（busy）な状態であると評価された。ただし、この手法の問題として、思考の言語化を意識することで視行動が不自然になる可能性について考慮する必要があった。具体的に言語報告しようとしている対象を凝視し、またその言語報告が終わるまでそこから目を離さないことで、極端に長い注視が生じる可能性があった。しかしこの問題は本研究にとって、むしろポジティブな側面があると考えられた。なぜなら、思考の言語報告をしようとする視行動に影響が生じるということは、両者が密接に関係していることの現れであり、この関係性を検討しようとする本研究の目的に合致するためである。したがって、言語報告を求める本研究と、言語報告を求めなかった以前の研究とで視行動がどのように異なるかについては探索的な課題として設定された。

---

---

## 方法

### 実験参加者

実験参加者は成人 20 名であった（男性 10 名、女性 10 名）。全員が実験の時点で有効な普通自動車の運転免許証を有していた。また乗り物酔いの経験がほとんどないこと、現役の職業ドライバーでないこと、過去 3 ヶ月間に週 1 日以上車を運転していることを確認した。

### 装置

実験は定置型ドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン社製）を使用して行われた。これは制御用ソフトウェア（三菱プレジジョン社製 D3Sim）、1 台のホストコンピュータ、6 台の映像出力用コンピュータにより制御され、運転席の前方、左前方、右前方、左側方、右側方に設置された 75 インチ型液晶ディスプレイ（SHARP 社製 PN-HB751）に模擬走行映像が表示された。また後方には 70 インチ型液晶ディスプレイ（Panasonic 社製 TH-70LF50J）が設置され、ルームミラー越しに見た際に車両後方の自然な模擬走行映像が見られるよう調整された。またサイドミラーは電子式で、運転席の左右に 7 インチ型液晶ディスプレイ（ADTECHNO 社製 LCD7620）が設置され、左右側後方の模擬走行映像がそれぞれ表示された。自動運転中に実施したドライバーの NDRA には、パズルゲームを用い、タブレット PC（Microsoft 社製 Surface Pro）上で実行された。実験参加者の視行動および発話データの計測には非接触式視線計測装置（Smart Eye 社製）とダッシュボードおよび左右サイドミラーに取り付けたマイク付きアクションカメラ（Sony 社製 HDR-AS50）を用いた。

### 手続き

実験では、ODD 遷移と運転引継が発生する約 5 分間の走行シナリオを設定した。まず片側 3 車線の自動車専用道の中央車線を時速約 65 キロで自動走行した。実験参加者は、自動運転中は常にタブレット PC を使用してパズルゲーム（NDRA）をプレイした。なお、NDRA のプレイ中は走行映像表示用ディスプレイを一面グレーにして、周辺走行環境を盗み見できないようにした（走行音は通常通り提示した）。

自動走行開始から一定時間後（10-100 秒；シナリオ毎に異なる）「まもなく運転交代」と音声アナウンスを提示した。アナウンスと同時に走行映像表示用ディスプレイを走行映像の表示に切り替えた。実験参加者には実験開始前に、アナウンスが提示されたらゲームをやめてタブレット PC を隣のシートに置き、約 1 分後の運転引継に備えて周辺の状況を監視するよう教示した。アナウンス提示から 54.5 秒後、ODD 遷移に伴う運転引継が発生させた。運転引継を求め

る際は電子音を提示した。実験参加者には実験開始前に、電子音が提示されたらすぐに運転操作を開始し、一定時間内（12-21 秒；シナリオ毎に異なる）に運転引継と同時に表示される進路案内板の表示（東京方面）に従って左右どちらかの車線への手動運転操作による車線変更を行うよう教示した。運転引継地点から一定距離（200-400 m；シナリオ毎に異なる）進んだ地点から黄色のセンターラインを設置し、参加者にはできる限りこの地点に到達するより前に車線変更を完了するよう求めた。走行シナリオは周辺車両の位置、自動運転開始から運転引継が発生するまでの間隔、車線変更可能区間の長さが異なる 10 種類を用い、各シナリオ走行中の視認行動を毎秒 30 回の頻度で計測した。計測開始前には練習用のシナリオで実験と同様の課題を行い、教示内容が理解できていることを確認した。

## 結果

対象別（前方走路もしくはミラー）に平均発話数、平均注視率を算出した（図 2-27）。エラーバーは標準誤差を示す。

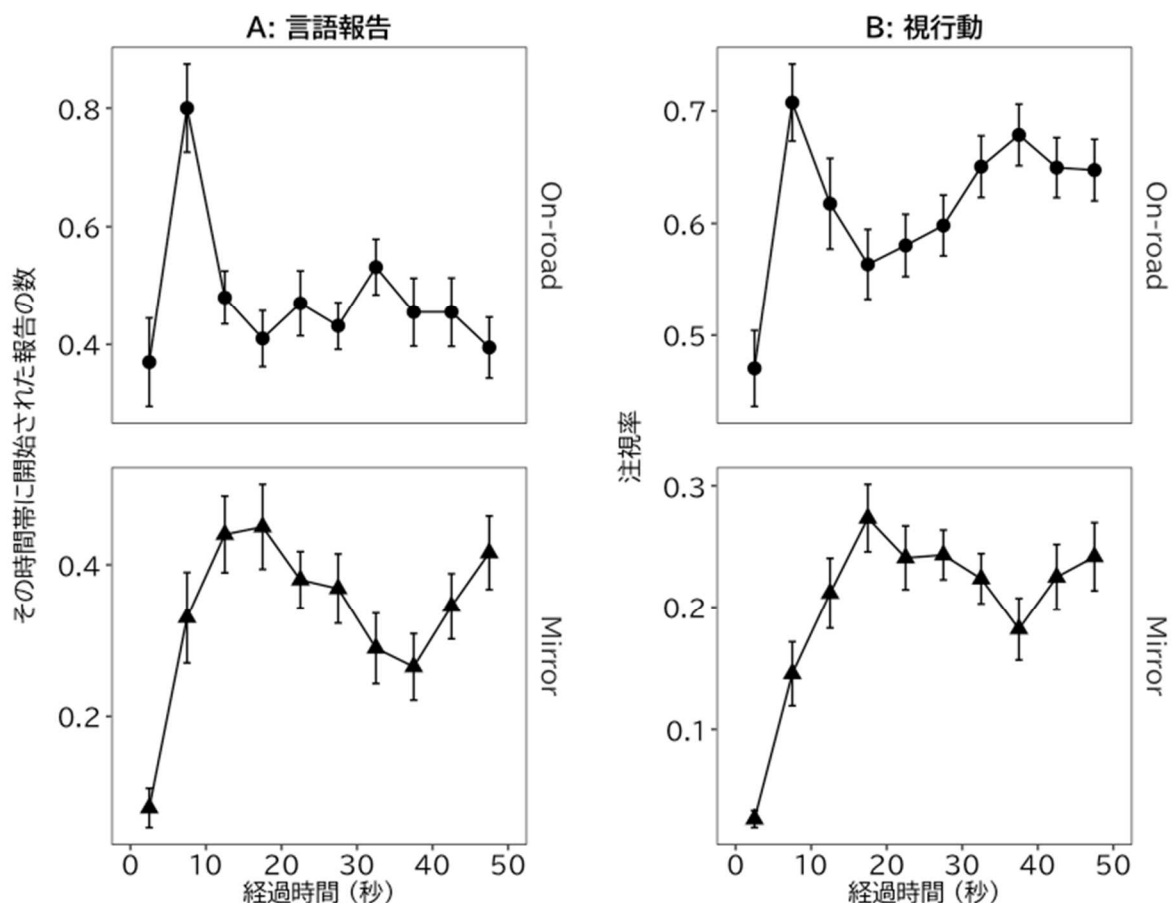


図 2-27 対象別（前方走路もしくはミラー）の平均発話数（A）と平均注視率（B）

---

---

## 言語報告

周辺監視開始後 5-10 秒の時間帯に前方走路の事象に対する報告ピークを迎え、その後急激に減少して横ばいになった。一方ミラー（側後方）の事象に対する言語報告は、監視開始後 10-20 秒の時間帯にピークがあり、一度減少した後、運転引継前の 40-50 秒の時間帯に再度増加する傾向がみられた。

## 注視行動

周辺監視開始後 5-10 秒の時間帯に前方走路への注視がピークを迎え、その後減少する傾向がみられた。また運転引継前の 35-50 秒の時間帯に再度増加する傾向がみられた。ミラー（側後方）への注視は監視開始後 10-20 秒の時間帯にピークがあり、一度減少した後、運転引継前の 40-50 秒の時間帯に再度増加する傾向がみられた。

## 考察

本研究の目的は、視行動による *attentiveness* 評価の妥当性を検討するため、視行動と言語報告に基づくドライバー認識状況の対応関係を明らかにすることであった。

結果より、言語報告に対して視行動は周辺監視開始後 5-10 秒の時間帯に前方走路への注視がピークを迎え、その後減少する点で同様の傾向を示した。一方で言語報告はその後横ばいであったのに対し、視行動は運転引継前の 35-50 秒の時間帯に再度増加した。これは言語報告が求められた参加者が報告すべき事象を探して視走査を続けたが特に新しい事象が見つからなかったことを反映すると考えられる。これはこの時間帯より前の段階で言及すべき事象についてはすでに把握できていたことを示しており、本プロジェクトのこれまでの成果である「ドライバーが周辺状況を把握するまでの時間は 20-30 秒程度である」ことをさらに裏付ける結果であると言える。一方、これまでの成果と異なる点として、前方への注視はこれまでは常に増加していくことが確認されており、ピークを迎えた後の減少は確認されていなかった。これは言語報告法の方法論的特性によるものと考えられる。言語報告は一度に複数の反応を並列に行うことができず、また一度の報告にはある程度の時間（5 秒程度）が必要である。したがってミラー（側後方）への言及を行う際には、しばらくの間前方から注意を逸らさざるを得ず、そのためミラー（側後方）への言及がピークを迎える時間帯において一時的に前方への注視が減少したものと考えられる。ただし、これも周辺監視場面における思考と視行動が対応していることの反映と考えられ、視行動による *attentiveness* 評価の妥当性を考える上ではポジティブな材料であると言える。

---

---

---

---

またミラー（側後方）への注視も言語報告と同じ傾向、すなわち監視開始後10-20秒の時間帯にピークがあり、一度減少した後、運転引継前の40-50秒の時間帯に再度増加することが示された。本プロジェクトのこれまでの研究と比較するとピークを迎える時間帯がやや遅いが、これも先に述べた言語報告法の方法論的特性によるものと考えられる。つまりミラー（側後方）への言及および注視のピークが遅れたのは前方走路の事象に対する報告を優先したためであると考えられる。

これらの知見を総合すると、少なくともドライバーが自動運転における周辺監視を行なっている状況下においては、視行動とドライバーの周辺認識状況はある程度対応しており、視行動によりドライバーの *attentiveness* を評価する試みは一定の妥当性を有するものと考えられる。

## 2.2. ドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討

### 2.2.1. 一般道での OEDR とドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 1

#### 目的

システムの OEDR 機能限界をドライバーに認識させる HMI を検討する。情報量とドライバーにとっての理解のしやすさにはトレードオフがある。ドライバーがシステムの未検知、誤検知をもっとも理解しやすい HMI の候補を挙げ、試作することを目標にしている。ドライビングシミュレータ実験により検討することを予定していることから、2019年度は、ドライビングシミュレータの前方映像に対応してシミュレータ内の HMI に画像が得られているか、評価を行う。

#### 手法

ドライビングシミュレータ実験により、システムが認識している情報を知らせる HMI が動作するかを確認し、その効果を検討する。

#### 成果

##### (1) シナリオの作成

障害物検知が難しいと考えられる、見通しの悪い非優先道路から出てきた自動車、道路工事個所に置かれたパイロン、二輪車等が存在する幹線道をイメージした片側 2-3 車線の道路を走行するシナリオを作成した。はじめは自車を第 2（中央）車線に ACC で走らせて、非優先道から進入する車やパイロンの認識状況を、HMI で見せておく（HMI 提示ありの場合）。その後、車線減少等により、自然に左側車線を走行する状況となり、非優先道から進入する車（図 2-28）

や道路工事個所に置かれたパイロン（図 2-29）が突然目の前に現れ、介入により事故回避が必要な状況となる。

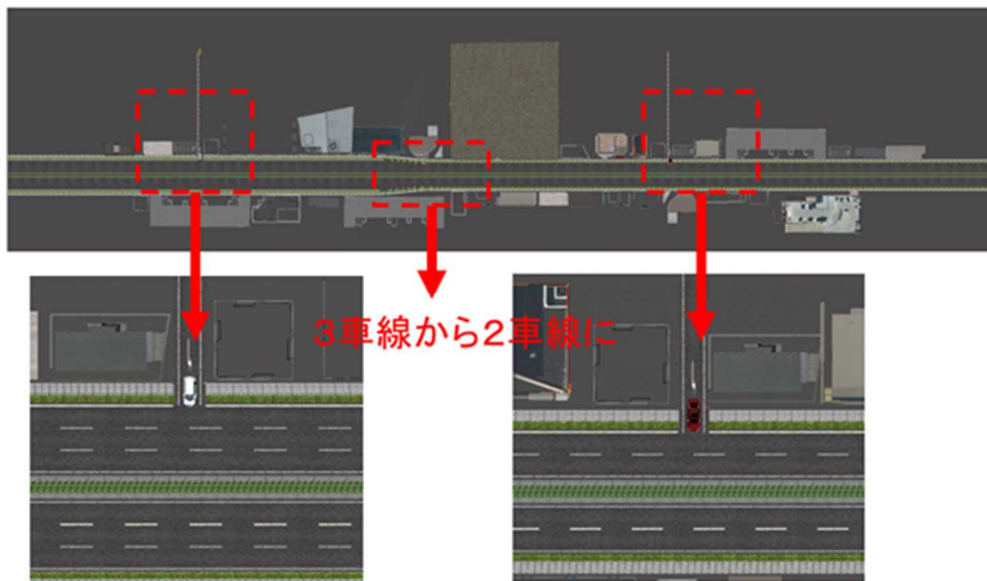


図 2-28 見通しの悪い非優先道路から出てきた自動車（シナリオ 1）



図 2-29 道路工事個所に置かれたパイロン（シナリオ 2）

## (2) HMI の提案と試作

ドライビングシミュレータで開発した画像認識プログラムを実装し、動作確認を行った。ダッシュボード上のスクリーンに投影された前方映像のタグ付け画像を表示できるようになった（図 2-30、図 2-32、図 2-32）。

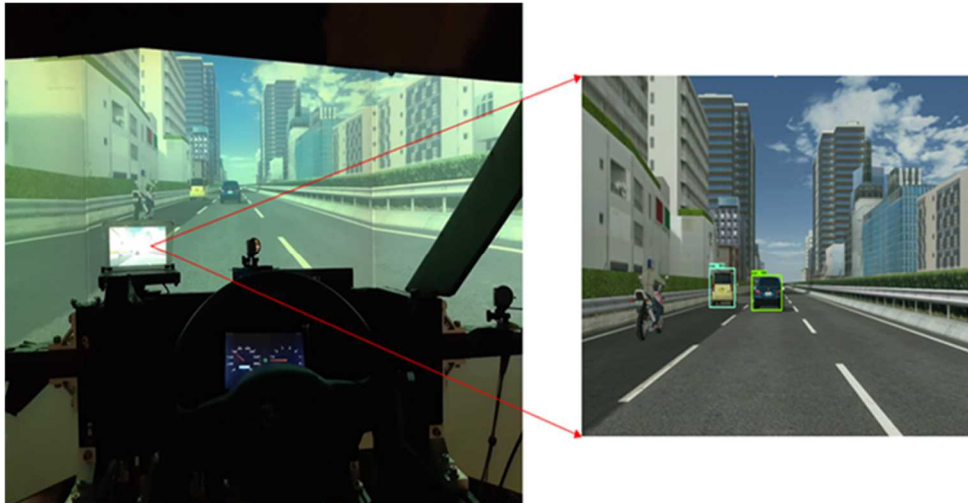


図 2-30 ヘッドアップディスプレイにより試作したタグ付け画像 HMI を表示



図 2-31 試作した HMI（非優先道路から出てきた自動車のシーン）

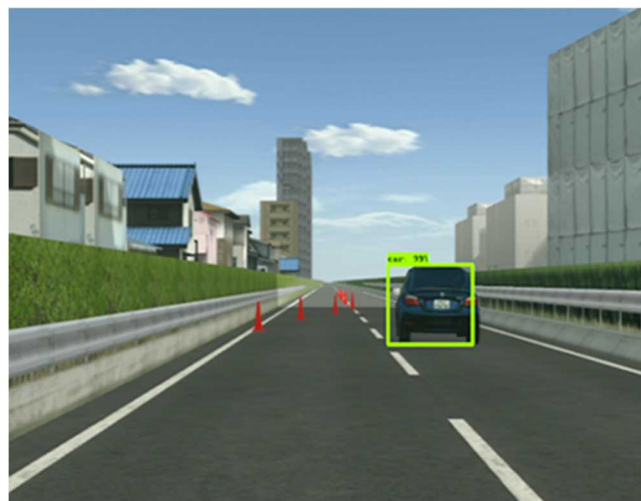


図 2-32 試作した HMI（道路工事個所に置かれたパイロンのシーン）

### (3) シナリオと HMI の確認

HMI 提示のありとなしの 2つのグループに分けて、少人数（HMI 提示ありの条件のみは 4 名、HMI 提示なしの条件のみは 4 名）で画像認識プログラムおよび走行するシナリオを確認した。HMI 提示ありの方が、ADAS が車両以外の物体（パイロンなど）および、バイクを含む二輪車を認識できない可能性があることが認識されており、システムに対する理解がより適切だという傾向が見られた（図 2-33）。来年度に行う予定のドライビングシミュレータ実験を実施できる環境が整ったことを確認した。

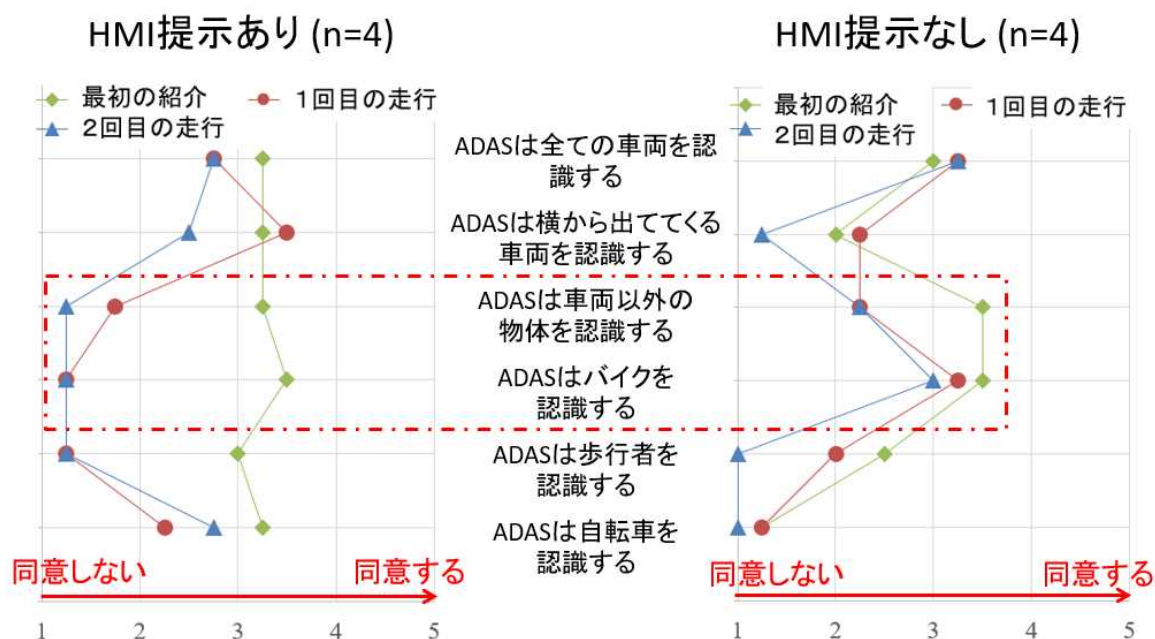


図 2-33 ADAS 認識性能に関する質問

## 2.2.2. ドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 2

### 目的

広範な潜在リスクを包括的に提示し、ドライバー主導の介入行動に適したシステム理解状態を醸成する HMI を提案、ドライビングシミュレータ実験により有効性評価を行う。

### 実験 1

ドライビングシミュレータ実験により、レベル 2 自動走行時と手動運転時の運転行動の差異を特定する。

手動運転時とレベル 2 自動走行時のドライバー挙動の差を特定することで、システム理解状態測定の客観的指標を確立することを目的とし、10 人の



---

---

実験協力者に対してドライビングシミュレータ（図 2-34）を用いた実験を行った。Smart Eye 製の 3 つの赤外線カメラで構成される視線計測システムをダッシュボード上に設置して計測を行った（図 2-34,2-35）。



図 2-34 ドライビングシミュレータ



図 2-35 視線計測システム

本実験で用いた道路環境を図 2-36 に示す。この道路環境は日本の主要な国道を模擬している（片側 3 車線）。いずれの条件においても自車は第 2 車線を走行し、特に危険なことが起きない限りは、車線変更をせずに前走車に追従する。実験シナリオにおいては、周囲に注意を払うべき潜在的なリスクシーン 3 種類がそれぞれ複数回発生した。リスクシーンは、第 1 車線または第 3 車線に車線規制用のパイロンが現れるシーン（図 2-37(a)）、第 1 車線と第 3 車線に複数台のバイクと乗用車が現れ、追い抜きが発生するシーン（図 2-37(b)）、霧が発生してやや前方視界が悪くなるシーン（図 2-37(c)）の 3 種類である。いずれのシーンでも事故につながるような危険なイベントは発生しない。

本実験では、シミュレータのホストコンピュータによって、車間自動制御（Adaptive cruise control）および車線維持システム（Lane keeping assist system）によって構成される、レベル 2 自動走行に相当するシステムを再現した。実験は手動運転およびレベル 2 自動走行と非運転タスク（Surrogate Reference Task、図 2-38）の有無を組み合わせた 4 条件で行われた。

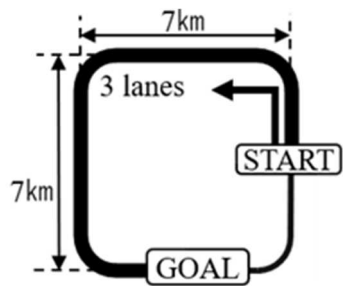


図 2-36 道路環境

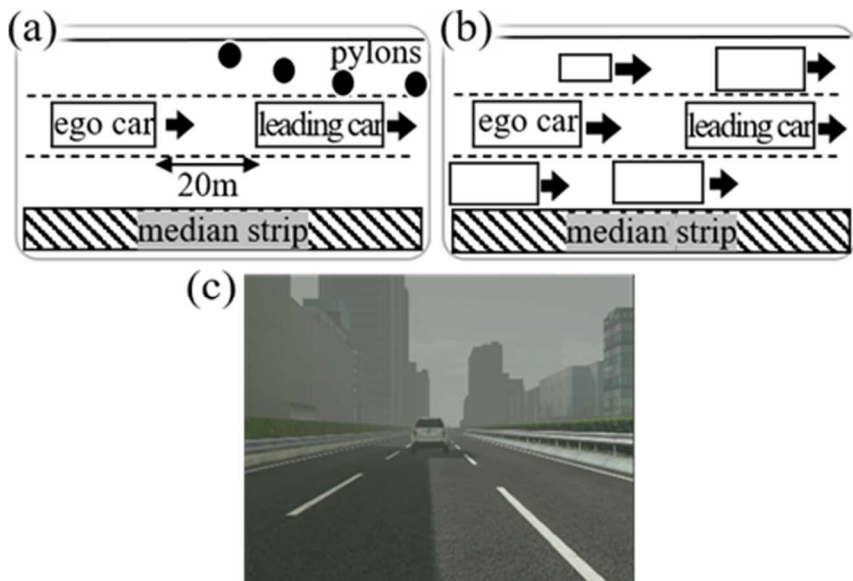


図 2-37 潜在的なリスクシーン（3種類）



図 2-38 非運転タスク

実験では、順序効果をキャンセルするために、実験協力者ごとにラテン方格により実験条件の順番を入れ替えた。最初に、運転の責任の所在やドライバーの監視義務等を含む自動走行システムに関する一般的な説明と、シナリオに関する説明を行い、シナリオの最後まで安全に走行することを求める旨

を実験協力者に伝えた。そして、手動運転およびレベル 2 自動走行を使用し  
ての練習走行をそれぞれ数分間行った。

運転中の参加者の視線を解析した結果、複数の領域で注視時間に有意差が  
認められ、レベル 2 自動走行システム使用時は手動運転時よりも正面および  
速度計への注視時間が短くなり、それ以外の領域への注視時間が長くなる傾  
向がみられた（表 2-3、表 2-4）。また、瞬目や閉瞼活動の分析においても、  
有意差が認められ、瞬目間隔の短縮および長時間閉瞼回数の増加がレベル 2  
自動走行システムに対する過剰な信頼や不適切なシステム理解状態の影響に  
よる覚醒水準低下の指標になるといえる。

表 2-3 非運転タスクなし

	手動運 転(秒)	レベル 2 自 動走行(秒)	p 値
正面	659	528	<b>0.0010</b>
右方	15.3	23.8	0.21
左方	16.6	49.2	<b>0.017</b>
速度計	41.8	14.8	<b>0.039</b>
右ミラー	13.5	20.6	0.068
左ミラー	3.56	5.60	0.081

表 2-4 非運転タスクあり

	手動運 転(秒)	レベル 2 自 動走行(秒)	p 値
正面	541	316	<b>0.0035</b>
右方	7.38	12.1	0.063
左方	10.7	18.4	0.10
速度計	29.9	11.7	<b>0.046</b>
右ミラー	15.1	28.7	<b>0.0043</b>
左ミラー	2.19	3.65	0.20
SuRT ディ スプレイ	92.8	224	<b>0.0062</b>

## 実験 2

HMI の提示情報として、システムによる前方の交通状況に対する認識結果  
の即時的提示を提案し、ドライビングシミュレータ実験により有効性評価を  
行う。

本研究では、レベル 2 自動走行システムに関する適切なシステム理解状態  
の醸成を促進し、複雑な交通環境においてもレベル 2 自動走行の安全な運用  
を可能とするための新しい HMI として、システムによる前方の交通状況に対  
するリアルタイムの認識結果を、直接ドライバーに提示する HMI を提案し、  
18 人の実験協力者に対してドライビングシミュレータを用いた実験を行い、  
その有効性の評価を行った。

本研究で提案する HMI は、前方の画像に対する物体認識の結果を、ドライ  
ビングシミュレータのダッシュボードに固定されたディスプレイにリアルタ  
イムで表示する（図 2-39）。結果は認識対象物を取り囲む長方形として前方画  
像に上書きする形で表示され、ドライバーは認識されている物体、見逃され  
ている物体をそれぞれ読み取ることができる。認識システムは、TensorFlow

---

Object Detection API および、それに付随して公開されている事前学習済みの機械学習モデルを用いて構築した。モデルは Faster RCNN と ResNet で構成された。実験シナリオに登場するにも関わらず認識されない物体をあえて設定することで、システムが認識できない物体の種類を実験協力者が理解できるかを評価するために、認識対象を car、van、truck の 3 種類のみにした。したがって、二輪車や道路規制用のパイロンなどの物体は認識されない。

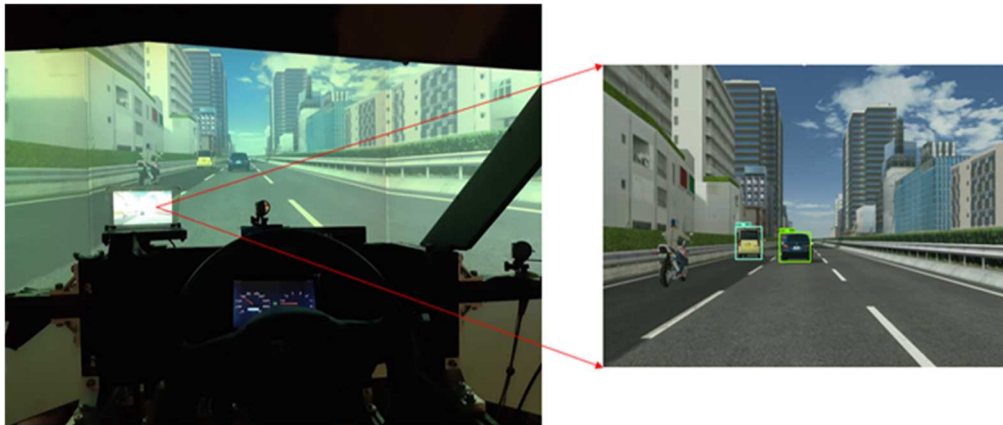


図 2-39 提案する HMI

本実験では、2 種類の顕在リスクシーンと 3 種類の潜在リスクシーンを用意し、それらを組み合わせた 2 種類のシナリオ、(i) および (ii) を用いた。顕在リスクシーンには、システムに認識されない、または認識が難しい物体が含まれており、ドライバーの介入がなければそれらに衝突する事故が起きる状況が設定された。潜在リスクシーンにも同じ物体が含まれたが、それらによって事故が発生することはない状況が設定されていた。顕在リスク図 2-40 (A) および潜在リスク図 2-41 (a) には、先行車両の通過直後に非優先道路から突然進入してくる他車両が現れた。顕在リスクではシステムによる認識とブレーキが間に合わず、ドライバーの介入がなければ進入車両に追突した。顕在リスク図 2-40 (B) および潜在リスク図 2-41 (b) には、車線規制のためのパイロンが登場した。パイロンは認識対象外のため、顕在リスクでは、ドライバーは衝突回避のためにブレーキまたはステアリングに介入する必要があった。潜在リスク図 2-41 (c) には、同じく認識対象外のバイクが現れた。

本実験で用いた道路環境は日本の主要な国道を模擬しており、初めの 4 分の 3 が片側 3 車線で、残りは第 1 通行帯が消失して片側 2 車線となっていた。片側 3 車線区間では自車および先行車両は第 2 通行帯を走行し、3 種類の潜在リスクシーンが繰り返し発生した。片側 2 車線区間では自車および先行

車両は第1通行帯を走行し、最終的にシナリオ (i) では顕在リスクシーン (A)、シナリオ (ii) では顕在リスクシーン (B) が発生した。

実験は、東京大学倫理審査委員会の承認を受けた上で実施した。参加者はランダムに2つのグループ (1) および (2) に分けられ、一方のグループはHMIを用いて実験を行い、もう一方はHMIを用いずに行った。順序効果をキャンセルするために、シナリオの順番はラテン方格を用いて参加者ごとに入れ替えた。

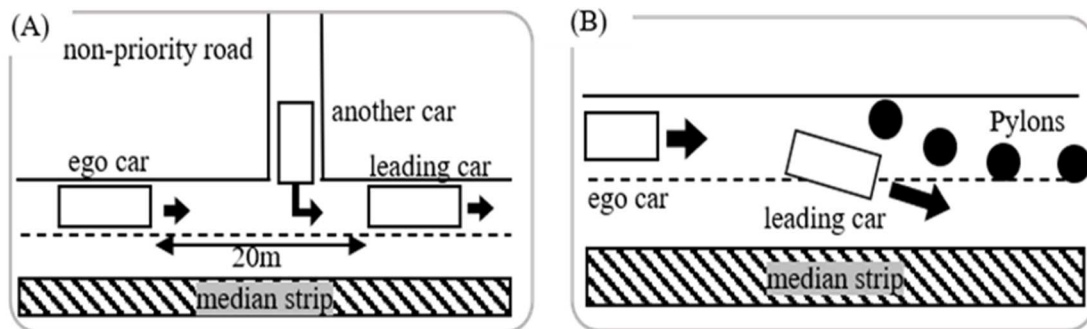


図 2-40 顕在リスク

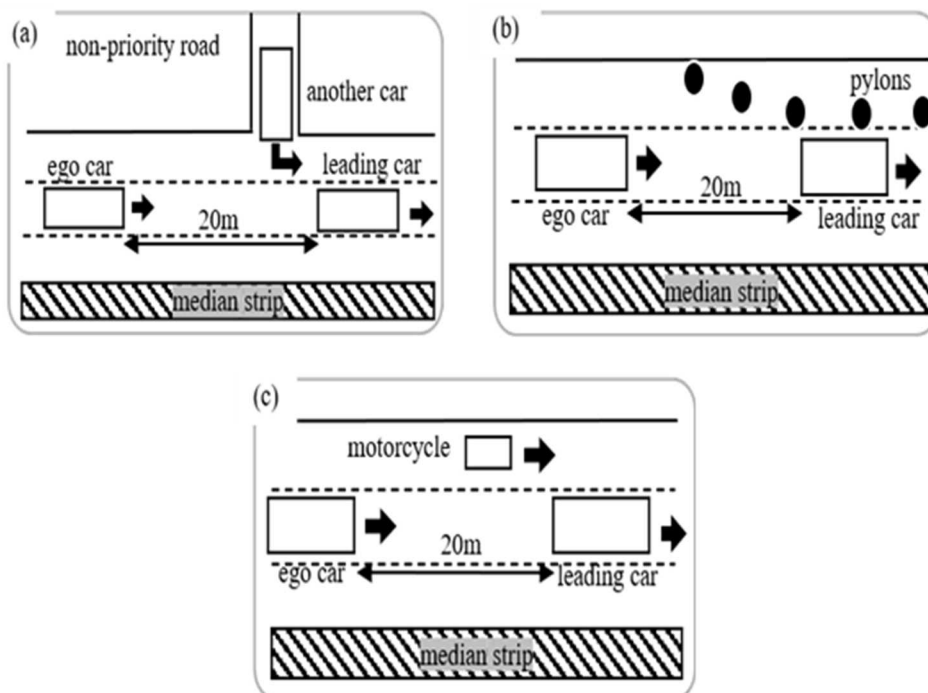


図 2-41 潜在リスク

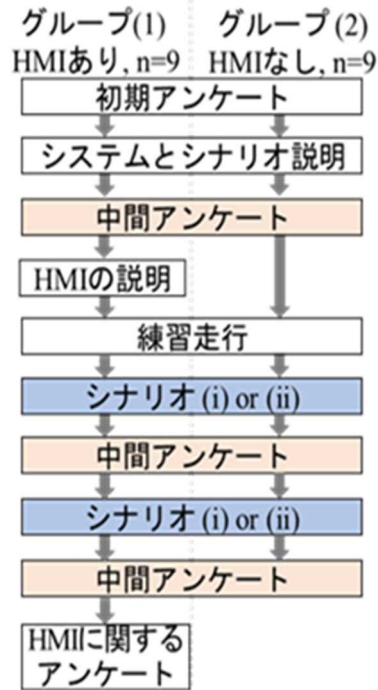


図 2-42 実験手順

実験手順の詳細を図 2-42 に示す。初期アンケートでは参加者の基本的な情報を収集した。シナリオ体験前の説明においては、運転の責任の所在やドライバーの監視義務等を含む一般的な説明を行った。どのようなリスクが何回発生するか等、リスクシーンに関する情報は一切与えられなかった。中間アンケートは全て同一内容で、システムに関する理解度や信頼度を問うものであった。1 が「全く同意しない」、5 が「完全に同意する」を意味する 5 段階の尺度で回答する方式であった。

2 種類の顕在リスクシーンにおいて、ドライバーがリスク回避のための介入を行うまでにかかった時間を計測したが、HMI を用いて実験をしたグループと用いなかったグループの間で有意差は見られず、HMI による反応時間の短縮効果は示されなかった。

システムの認識能力・システムの挙動と安全性・信頼度について問うアンケートの結果においては、2 つのグループの間で、複数の質問項目に対する回答で有意差が見られ、HMI の情報提示によってシステム理解状態の改善を示唆するアンケート結果が得られた (図 2-43)。特に潜在リスクに関する項目における有意差が顕著であり、顕在的に体験しない潜在リスクをドライバーに意識させ続け、良好なシステム理解状態を醸成する効果が認められた。

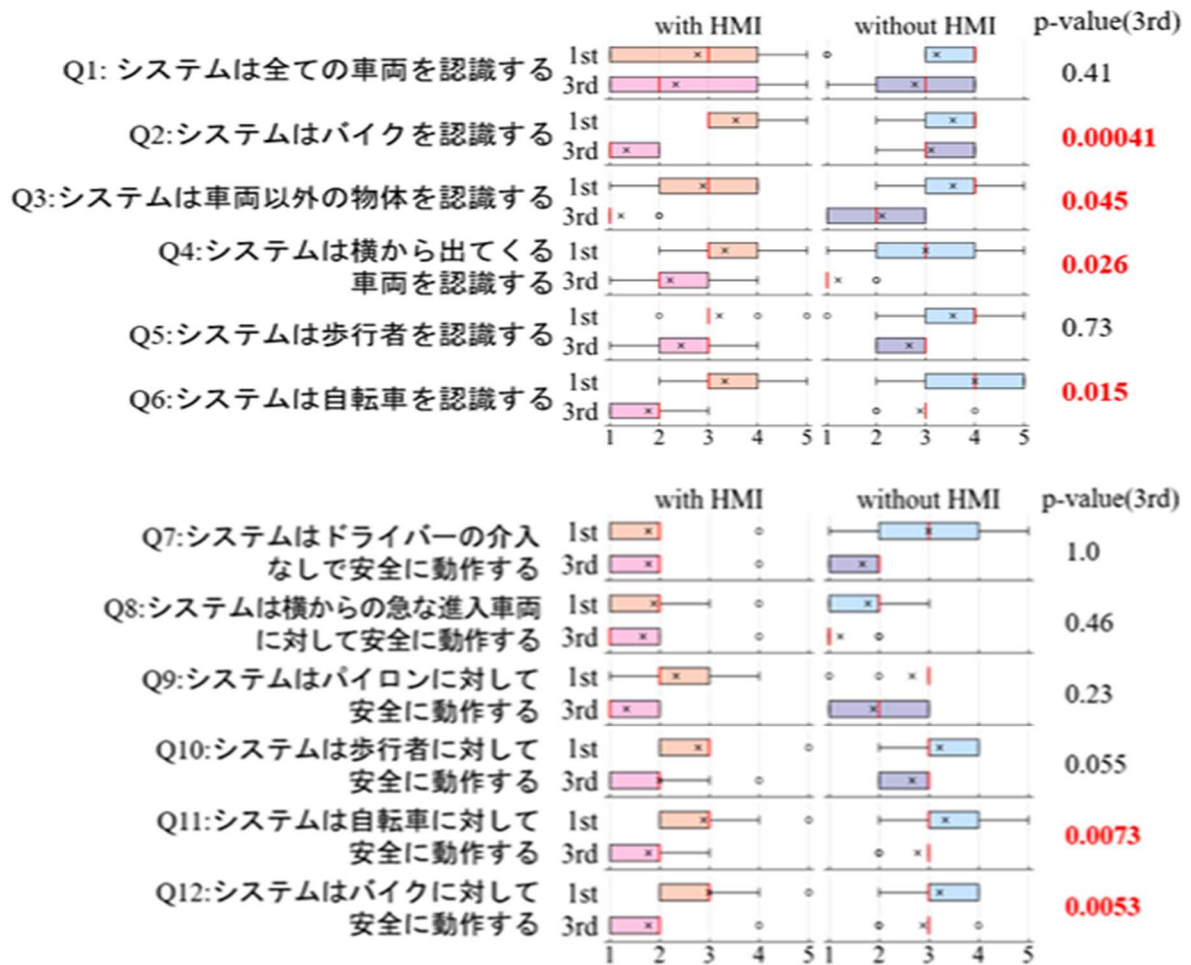


図 2-43 アンケートの結果

### 実験 3

実験 2 で提案した HMI とフロントガラス投影型 HMI の 2 種類の HMI について、詳細な有効性評価と比較を行う。

実験 2 で提案した HMI とフロントガラス投影型 (HUD) HMI の有効性の評価を行うため、18 人の実験協力者に対してドライビングシミュレータ実験を行った。フロントガラス投影型 HMI を図 2-44 に示す。

実験では、実験協力者にはシナリオごとにレベル 2 自動走行システムの細かい仕様や苦手な状況は異なると説明し、シナリオ前に持っている知識ができるだけ等しくなるようにした。ただし、実際には、car、van、truck、motorcycle、pylon が認識可能なシステム (i) と、car、van、truck のみが認識可能なシステム (ii) を用いて、HMI の 3 条件 (HMI 非使用、実験 2 で提案した HMI、HUD HMI) と組み合わせた合計 6 条件で実験を行った。システムの変更に加えて、6 条件の実施順序を、ラテン方格によって実験協力者ごとに変更する方式での順序効果のキャンセルも行った。

実験シナリオでは、実験 1 と同じ潜在リスクが複数回発生した後、最後にバイクが減速しながら自車の前方に車線変更してくる顕在リスクシーンが発生した（図 2-44,2-45）。いずれの潜在リスクシーンにおいても、ドライバーの介入がなくとも事故は発生しなかった。顕在リスクシーンにおいて、システム(i)はバイクを認識して自動で減速できたが、システム(ii)はバイクを認識できないため、ドライバーの介入がなければバイクに追突した。

初期アンケートでは参加者の基本的な情報を収集した。中間アンケートは、運転行動の自己評価、システムの認識能力に関する知識、システムの挙動に関する知識、システムへの信頼度を問うものであった。

最終の顕在リスクシーンにおける介入行動とアンケートを解析した結果、HUD HMI に、知識伝達、注意レベル向上、介入行動迅速化の効果が認められ、適切なシステム理解状態醸成に有効であることが示された。実験 2 で提案した HMI には、介入の迅速化効果は認められないものの、知識伝達に関しては、HUD HMI よりも有用性が高いことが示された。

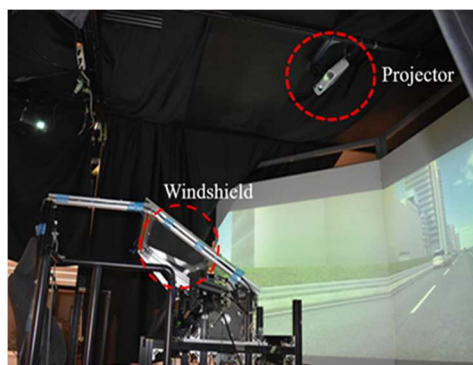


図 2-44 フロントガラス投影型 HMI

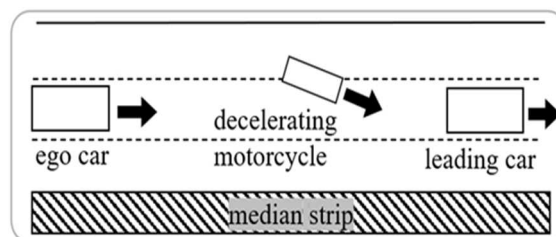


図 2-45 顕在リスクシーン



---

---

### 2.2.3. ドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 3

#### 背景

ドライバー主導による自動から手動への遷移は、主にレベル 2 走行において発生する。現在高速道路に限られる L2 走行を、ハザードの多い一般道に展開させるためには、今以上にドライバーによる迅速な反応を達成することが求められる。そのためには、ドライバーが適切なシステム理解に基づいて、適切な応答ができることを示す必要がある。

#### 目的

本研究ではレベル 2 運転支援を一般道で安全に適用することを可能とするために、特に信号交差点付近において、レベル 2 運転支援走行時のドライバーの注意レベル向上および、リスクに対する適切な対応を支援する HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行うことで、ドライバー主導の適切な運転介入を支援する HMI 要件を調査する。

(1) 信号交差点を含む一般道におけるレベル 2 運転支援時の交通信号変化時の要因となる提示情報の調査

信号認識による制御を行うことを前提としていない運転支援の時、ACC で追従制御を行っている時に信号交差点接近の際に信号が黄色に変わると、ドライバー主導の運転介入を行って車を停止させることが求められる。本実験では、レベル 2 運転支援による自動走行中の車両による安全な信号交差点の通行を支援するための HMI 要件の調査を目的とする。地図情報を基にした静的環境情報を提示するものと、静的環境情報に加えインフラ情報を基にした動的環境情報を提示するもの、2 種類の HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。

静的環境情報として交差点および合流地点への接近を提示する (図 2-46)。動的環境情報として交通信号の先読み情報などを提示する (図 2-47)。交通信号先読み情報は自車が信号交差点に到達する際の前方信号の灯色を予測したものである。本研究で提案する HMI は、各提示情報をドライビングシミュレータ (図 2-48) のダッシュボードに固定されたヘッドアップディスプレイ (HUD) に表示し (図 2-49)、表示時に音で通知を行う。また、Smart Eye Pro システム (Smart Eye 社製) の 4 つの赤外線カメラで構成される視線計測システム (図 2-50) をダッシュボード上に設置して、視線の計測を行った。

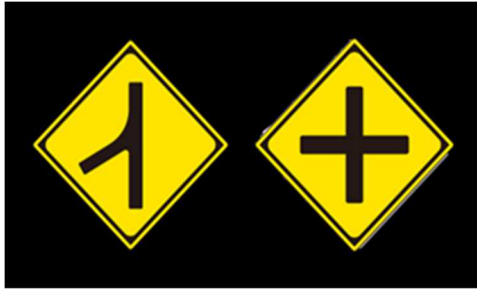


図 2-46 静的 HMI

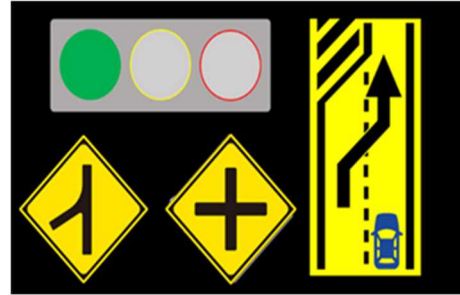


図 2-47 動的 HMI



図 2-48 ドライビングシミュレータ

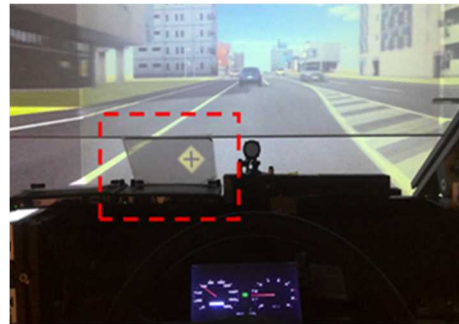


図 2-49 HUD による表示

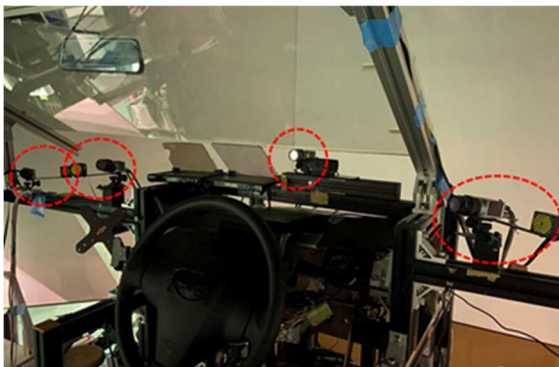


図 2-50 Smart Eye Pro システム

レベル 2 運転中は、ドライバーは加減速やステアリング操作といった動的運転タスクを行う必要は一切なかったが、顕在リスクに直面した場合には運転介入を行い、手動で危機回避を行わなければならなかった。システム側から運転介入を行う要請は一切行われず、ドライバーは自ら危険事象や異変を検知し、ドライバー主導で危機回避を行う必要があった。

本実験で用いた道路環境は日本の国道を模擬しており、片側 2 車線、交差点付近では右折レーンが加わり 3 車線となっていた。全長 16km、信号交差点が 31 個、分合流が 2 個ずつと設定された。顕在リスクの発生する信号交差点に自車両および先行車両の接近時に信号が黄信号に変わる。先行車両は停止するこ

となく信号交差点を通過するが、自車は運転介入せず自動走行を行った場合、停止線付近で赤信号となる（図 2-51）。

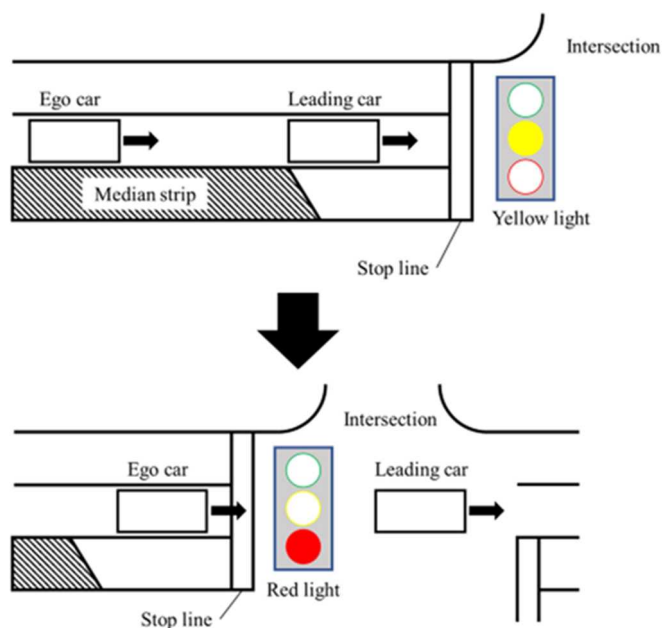


図 2-51 顕在リスク

16 人の実験協力者に対して 4 つの条件（手動運転、レベル 2+HMI 非使用、レベル 2+静的 HMI、レベル 2+動的 HMI）においてドライビングシミュレータ実験を行い、有効性の評価を行った。視線計測の結果、静的 HMI および動的 HMI を用いて運転支援による走行を行った場合、交差点付近において HMI の視認による正面注視率の低下が確認された。リスク発生後の対応について、動的 HMI を使用した場合に、緩やかな減速および、余裕を持った停止（図 2-52）が行われることが示されており、これは先読み情報により前もって赤信号になることをドライバーが知ることにより、準備行動をとることができた可能性が考えられる。

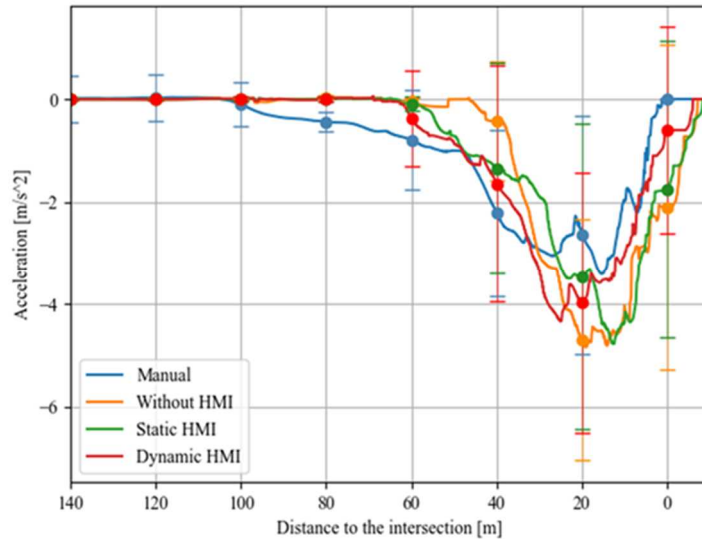


図 2-52 交差点までの距離に対する加速度の変化

(2) 信号交差点を含む一般道におけるレベル 2 運転支援時の交差点における他車両との事故防止の要因となる提示情報の調査

本実験では、レベル 2 運転支援による走行中の適切な運転介入による信号交差点付近の車-車間事故の防止を実現するための HMI の要件の調査を目的とする。危険な場所を明示することを目的として、地図情報をもとにした静的環境情報を提示するものと、運転支援システムの仕組みの確認を目的として、車載センサ情報を基にした物体認識情報を提示するもの、2 種類の HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。

図 2-46 に示すように、静的環境情報として交差点および合流地点への接近を提示する。物体認識情報として運転支援システムにより認識された自車両前方の物体を提示する (図 2-53)。各提示情報をドライビングシミュレータのダッシュボードに固定された 2 つのヘッドアップディスプレイにそれぞれ表示する。

自車は、60km/h で第 2 車線を直進する先行車両を運転支援システムにより追従する。顕在リスクでは、信号交差点付近の第 1 車線に左折車両および前方左折車両の左折待ちをするバイクが現れ、バイクが自車の前方に割り込み、運転介入をしなければバイクに追突する (図 2-54)。15 人の実験協力者に対して 5 つの条件 (手動運転、レベル 2+HMI 非使用、レベル 2+静的 HMI、レベル 2+センサ HMI、レベル 2+HMI 併用) においてシミュレータ実験を行い、有効性の評価を行った。



図 2-53 センサ HMI

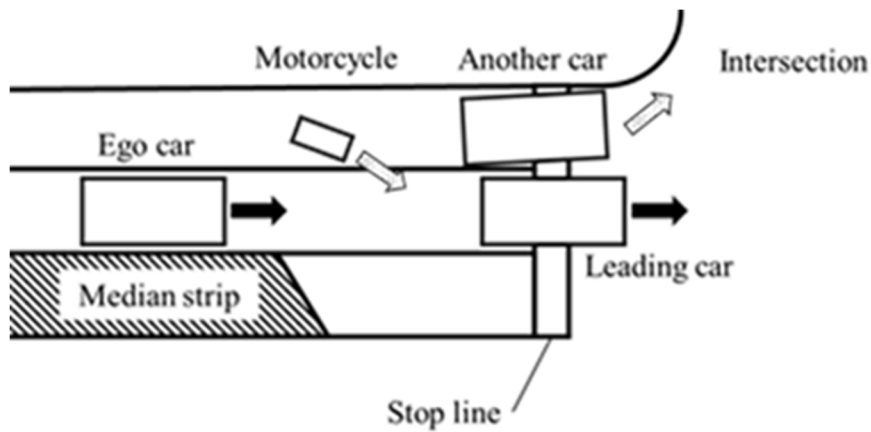


図 2-54 顕在リスク

視線計測の結果、センサ HMI は、HMI の視認により前方正面からドライバーの視線逸らす効果が見られる。複雑な情報を連続的に提示しているため、視認に時間をかける必要があり、HMI の視認中に突発的なリスクの発生した場合、反応を鈍らせる可能性が考えられる。顕在リスクシーンにおいてバイクが車線変更を終了した時点からの自車の速度変化および THW（前方車両の現在位置に自車が到達するまでの時間）の時間変化をそれぞれ図 2-55、図 2-56 に示す。センサ HMI と静的 HMI の併用条件では、手動運転における反応に比較的近い速度および THW の維持を示しており、運転権限の移行が円滑に行われたことが考えられる。

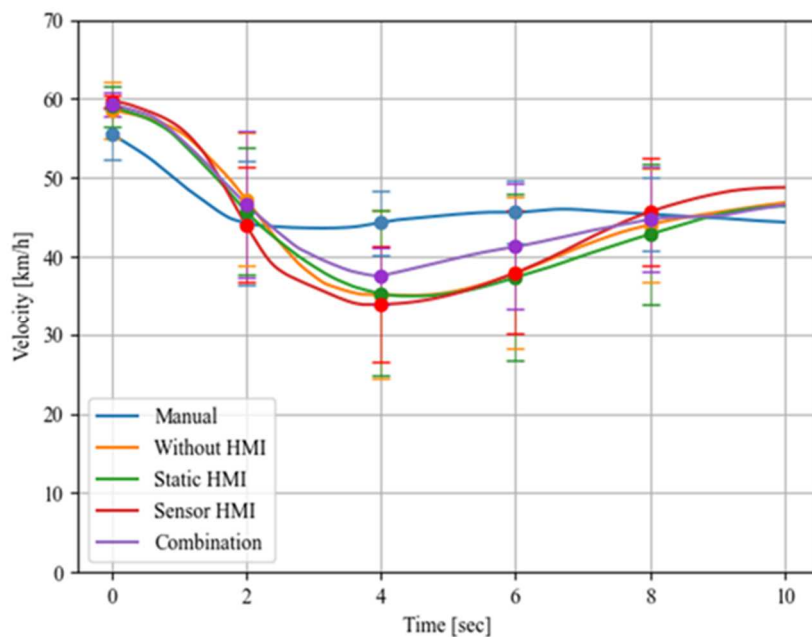


図 2-55 バイク車線変更終了後の自車速度の時間変化

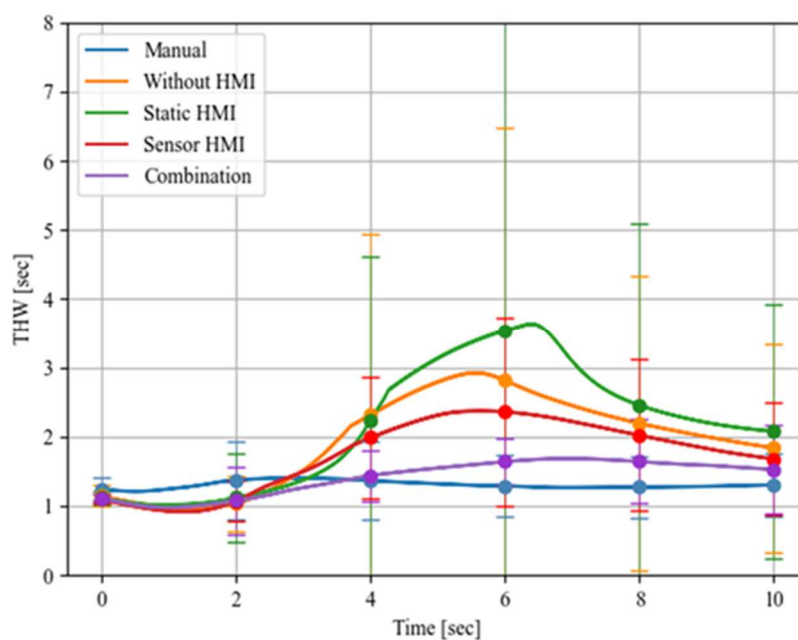


図 2-56 バイク車線変更終了後の自車の THW の時間変化

#### 2.2.4. ドライバー自らの運転引継ぎを支援する HMI の検討 4

##### 背景

ドライバー主導による自動から手動への遷移は、主にレベル 2 走行において発生する。現在高速道路に限られるレベル 2 走行を、ハザードの多い一般道に展開させるためには、今以上にドライバーによる迅速な反応を達成することが求められる。そのためには、ドライバーが適切なシステム理解に基づいて、適

---

---

切な応答ができることを示す必要がある。

## 目的

本研究では、一般道においてレベル 2 運転支援時、信号交差点右左折時のドライバーの注意レベル向上および適切な介入を支援する HMI を提案する。ドライビングシミュレータ実験を行い、HMI の有効性評価を行うことでドライバー主導の適切な運転介入を支援する HMI の要件を調査することを目的とする。

### 実験 1: 信号交差点右折時のドライバーの注意レベル向上および適切な介入を支援する HMI

本実験では、レベル 2 運転支援による走行中の適切な運転介入による信号交差点付近の車-車間事故の防止を実現するための HMI の要件の調査を目的とする。危険な場所を明示することを目的として、地図情報をもとにした静的環境情報を提示する静的 HMI と、運転支援システムの仕組みの確認を目的として、車載センサ情報を基にした物体認識情報を提示するセンサ HMI、2 種類の HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。図 2-57 に示すように、静的 HMI では、静的環境情報として交差点および合流地点への接近を提示する。センサ HMI では、物体認識情報として運転支援システムにより認識された自車両前方の物体を提示する（図 2-58）。

図 2-59 に示すように、本研究では前方 3 面のスクリーンとプロジェクタ、動揺装置を備えたドライビングシミュレータを用いた。シミュレータ上で模擬的にアダプティブクルーズコントロールと車線維持支援システムを再現し、レベル 2 相当の運転支援システムを構築した。レベル 2 運転中は、ドライバーは加減速やステアリング操作といった動的運転タスクを行う必要は一切なかったが、顕在リスクに直面した場合には運転介入を行い、手動で危機回避を行わなければならなかった。システム側から運転介入を行う要請は一切行われず、ドライバーは自ら危険事象や異変を検知し、ドライバー主導で危機回避を行う必要があった。各提示情報をドライビングシミュレータのダッシュボードに固定されたヘッドアップディスプレイにそれぞれ表示する。

自車は、60km/h で第 2 車線を直進する先行車両を運転支援システムにより追従する。図 2-60 に示すように、顕在リスクでは、自車両が交差点を右折時に停止中の対向車の死角からバイクがすり抜け、飛び出すものである。実験参加者は運転介入をしなければバイクと衝突する。15 人の実験協力者に対して 5 つの条件（手動運転、レベル 2+HMI 非使用、レベル 2+静的 HMI、レベル 2+センサ HMI、レベル 2+HMI 併用）においてシミュレータ実験を行い、有効性の評価を行った。

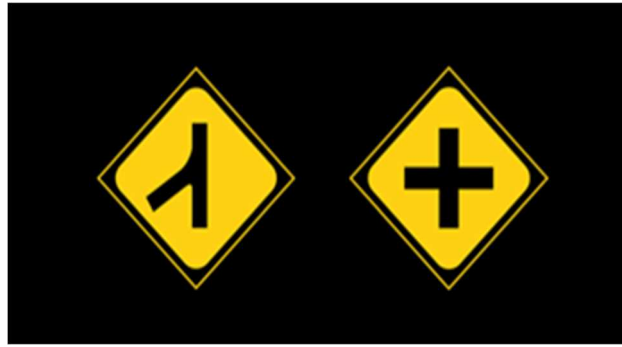


図 2-57 静的 HMI



図 2-58 センサ HMI



図 2-59 ドライビングシミュレータ



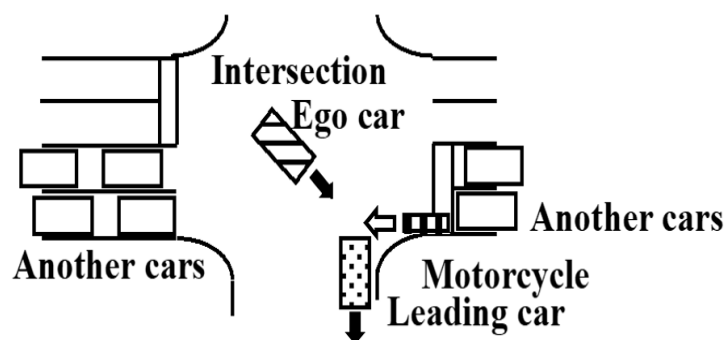


図 2-60 顕在リスク

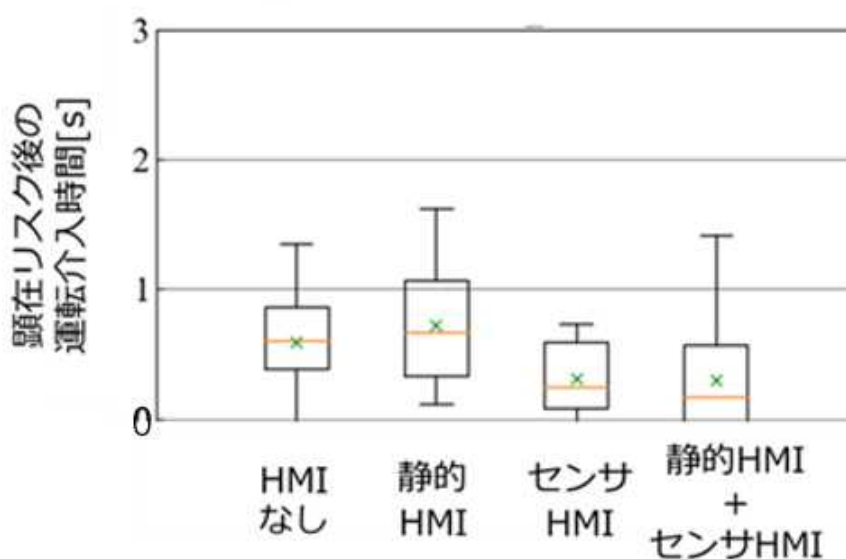


図 2-61 バイクすり抜け時の運転介入時間

バイクすり抜け時の運転介入時間を分析した結果、センサ HMI と静的 HMI の併用条件では、運転介入時間が短くなる傾向にあった（図 2-61）。これは、センサ HMI により機能限界を提示することで、バイクがシステムの認識対象外であることを早期に認知し、運転介入時間が短くなったと考えられる。

#### 実験 2: 信号交差点左折時のドライバーの注意レベル向上および適切な介入を支援する HMI

信号認識による制御を行うことを前提としていない運転支援の時、左折する際に信号が赤になると、ドライバー主導の運転介入を行って車を停止させることが求められる。本実験では、レベル 2 運転支援による自動走行中の車両による安全な信号交差点の通行を支援するための HMI 要件の調査を目的とする。

---

地図情報を基にした静的環境情報を提示するもの（静的 HMI）と、静的環境情報に加えインフラ情報を基にした動的環境情報を提示するもの（動的 HMI）、2 種類の HMI を提案し、ドライビングシミュレータを用いた実験により有効性評価を行う。

実験 1 の図 2-57 に示すように、静的環境情報として交差点および合流地点への接近を提示する。動的環境情報として車両用、歩行者用信号の先読み情報および車線規制情報などを提示する（図 2-62）。交通信号先読み情報は自車が信号交差点に到達する際の信号の灯色を予測したものである。図 2-63 に示すように、顕在リスクの発生する信号交差点において、車両用信号が黄色のタイミングで先行車両が左折するが、自車両が左折する際には赤に変わるものである。実験参加者は運転介入をしなければ信号無視になる。16 人の実験協力者に対して 4 つの条件（手動運転、レベル 2+HMI 非使用、レベル 2+静的 HMI、レベル 2+動的 HMI）においてドライビングシミュレータ実験を行い、有効性の評価を行った。

リスク発生後の対応について、動的 HMI を使用した場合に、運転介入時間が短くなる傾向にあった（図 2-64）。また、動的 HMI では信号無視が発生しなかった。HMI なしと静的 HMI の時と比較して、動的 HMI を使用した場合に、停止線前で停車できる回数が増加したことが分かった。

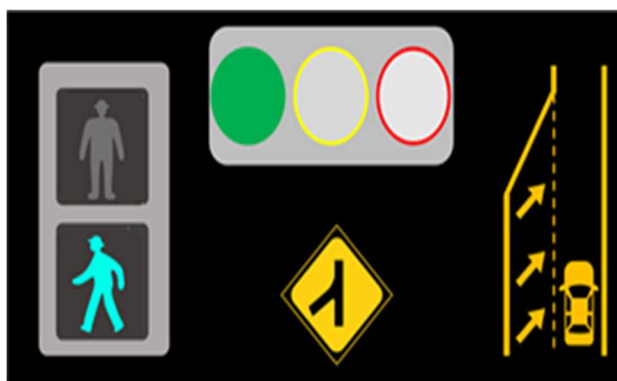


図 2-62 動的 HMI

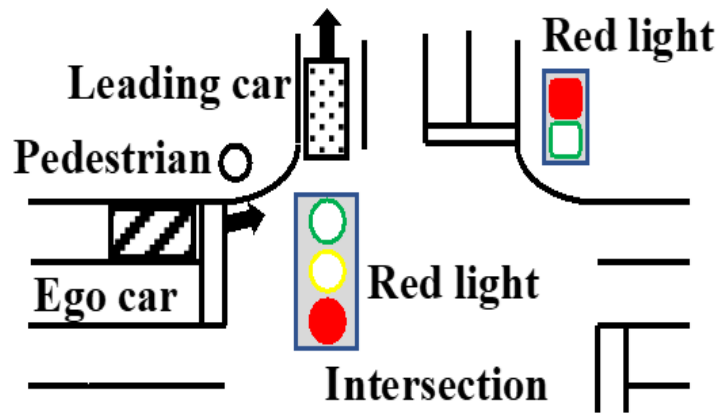


図 2-63 顕在リスク

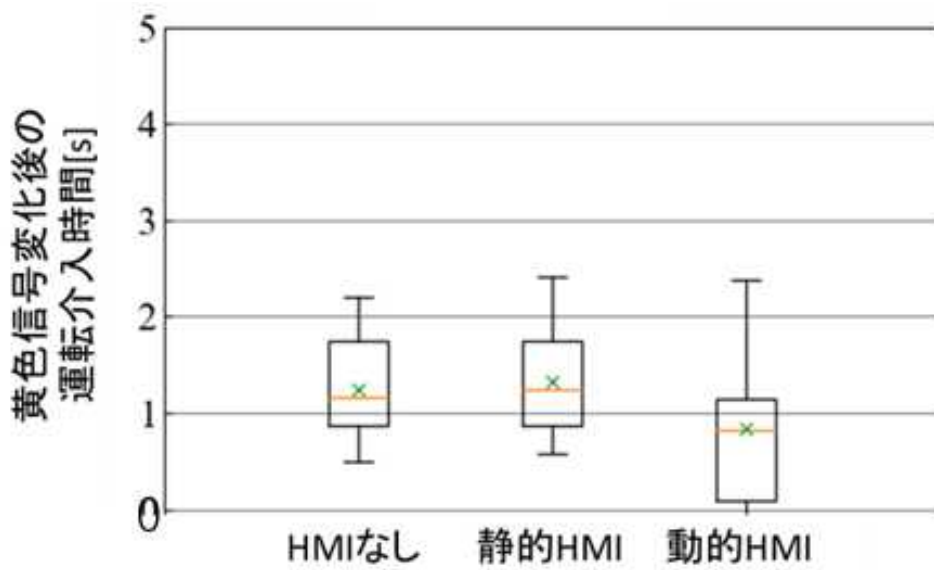


図 2-64 信号変化後の運転介入時間

---

---

### 3. 課題 C：運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育方法に関する研究開発

#### 3.1. 本研究の目的

本研究では、自動運転を社会において円滑に導入できることを目指し、以下のことに取り組んだ。すなわち、自動運転に関する一般向けの安全運転教育のコンテンツを開発するとともに、そのコンテンツに関してドライビングシミュレータを用いた検証ならびに実運用の試行と改善を行う。また、特定のシステムを対象として、自動車販売のディーラーやレンタカーの営業所などで、当該システムに関する知識を伝達する方法論を開発し、ドライビングシミュレータでの検証を行う。

上記の取り組みにあたり、具体的には、以下のように研究課題を設定した。

- (1) 動機付け手法
- (2) 機会に応じた教育・訓練方法
- (3) 学習者の多様性への対処

#### 3.2. 動機づけ手法

##### 3.2.1. 動機づけのためのオープニング動画の開発

自動運転に関する知識を持たなければ適切な利用はできないが、知識を身につけるための学習を円滑に行うためには、学ぶ動機づけが重要となる。とくに、実際に自動運転を利用する意思がある人なら学習意欲はもともと高いとも考えられるが、自動運転システムを利用する意思のないドライバーや歩行者などでは、自動運転のことについて学ぼうとする動機は弱いからである。しかし、自動運転の知識伝達を円滑に行うためには、基礎的・一般的な事項についてすべてのドライバー・歩行者が知っておくべきであると考えられることから、学習のための動機づけが重要な役割を有する。

限られた時間で自動運転に関する学習の動機づけを行う方法として、本研究では、数分で見終えることのできるオープニング動画の開発に取り組んだ。

本研究で開発したオープニング動画は、以下の2種類である。

- ストーリー編（図 3-1）：家族など身近な人とドライブを行うという想定で、自動運転を活用するストーリーを展開する
- 事例編（図 3-2）：事実から学ぶことが得意な人向けに、事故統計などを示しつつ、学習を動機づける



図 3-1 オープニング動画（ストーリー編）



図 3-2 オープニング動画（事例編）

開発した動画について、エキスパートレビュー、形成的評価を行ったうえで、ウェブベースの実験によってその効果評価を行った。この実験では、オープニング動画について、ストーリー編、事例編、なしの3条件を用意するとともに、実際に学習に供する教材として、必要な知識を説明したテキスト（テキスト）、理解すべき知識に関してクイズに答えながら学習を進める（クイズ）、必要な知識の説明を記したスライドを読み上げる（スライド読み上げ動画）の3条件を用意し、学習後の知識を評価した。約1,800名の参加者に対して実験を行った結果、オープニング動画で理解が深まる可能性、高齢者や女性で、ストーリー編がより効果をもたらす可能性が示唆された。

また、開発した動機づけ動画の効果を検証するために、ドライビングシミュレータ（DS）を用いた実験を行った。この実験では、講習などの場面において、ごく短い時間しか使えないことを想定し、動機づけや教育内容をごく短くしたときに教育の効果が得られるかを確認するために行ったものである。この実験では、提示するコンテンツを、自動運転に関する知識のスライド読み上げ動画のみ（約4分、資料の持ち帰りはなし）、自動運転に関する知識のクイズ動画のみ（約8分、資料の持ち帰りはなし）、動機づけ動画のみ（約2分、自動運転に関する知識を記した資料の持ち帰りあり）、の3条件（3群）で比較した。

各群の実験参加者を16名（合計48名）とし、手順としては1日目に、動

機づけもしくは一般知識の説明をしたうえで、2日目に使用するシステムについての説明を行った。1日目の教示から少なくとも40日経過した後で2日目にDSでの検証実験を行った。その結果、全体としては、スライド読み上げ群と動機づけ群とではほぼ同程度の割合で運転介入できることが確認できた(図3-3)。ごく短い時間では全体としては教育の効果は弱くなるが、動機づけを与えるだけでも、スライド読み上げを行った場合と同程度の効果をもたらすということは重要な知見である。参加者との個別のインタビューでも、動機づけ動画を見ることによって学習意欲が増し、自身で資料をみたり調べたりする人がいたことが確認できている。

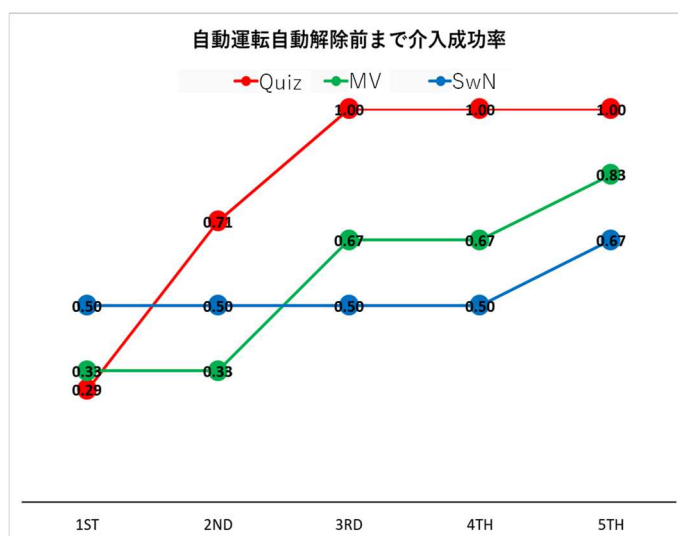


図 3-3 短い時間での教育の効果に関する DS 実験の結果 (横軸: DS 実験での試行回数、縦軸: 自動運転解除前に運転介入を手動で行えた人の割合)

### 3.2.2. 集合研修を通じたインフォーマル学習の検討

講習の場などで短い時間に動機づけるだけでなく、教育の機会によっては、より時間を取って、自動運転に関する学びを促進させることも重要である。そこで、ミュージアムなどの場を想定したインフォーマル学習の在り方について検討を行い、ワークショップなどを想定した研修の試行を行った。

ここでは、実際に試行するインフォーマル学習の場の学習目標として、次の2点を掲げた。

- (1) 自動運転車に関連して、レベル、仕組み、ドライバーの役割など、概要について説明できる、
- (2) レベルの違う自動運転車が共存する交通を利用する際に、安全に利用するために必要な態度について、自分の考えを述べるができる

これらの学習目標に到達するために、表 3-1 動機づけ教育の内容案の通りプランを立案した。

表 3-1 動機づけ教育の内容案

オープニング	グループのメンバと簡単に自己紹介。交通利用の安全についての経験を共有使用
[説明]自動運転車の概要&レベルの違う自動運転車が共存する社会とは？	自動運転車について知ろう！ (オープニング動画事例編 2分、自動運転動画教材 5分) 自動運転車のまとめ。レベルが違う自動運転車が共存する交通を利用するとは？ (外向きコミュニケーションの動画 2分) 態度の構成 3成分とは・・・
ディスカッション 1: 交通利用者（歩行者など）として	レベルの違い自動運転車が共存する交通を安全に利用するために・・・ 交通利用者として、知識、感情、行動に整理してみよう
[説明]D1 成果物の確認	Miro の活動を確認
[説明]レベルが違う自動運転車の混在	Miro の活動を確認。ドライバーとして安全な態度について考える (オープニング動画ストーリー編 2分)
ディスカッション 2: ドライバーとして	レベルの違い自動運転車が共存する交通を安全に利用するために・・・ ドライバーとして、知識、感情、行動に整理してみよう
[説明]他のグループの Miro の結果を確認してみよう	他グループのアウトプットをみて、自グループのアウトプットを振り返る。他チームのボードに赤青シール（同意・異議を示す）を貼る。自分で安全・安心・円滑な交通に自分がどのように貢献できるか考えてみる。
[説明]D2 成果物の確認	Miro の活動を確認
[説明]安全運転に関する尺度の例+まとめ	安全運転に関する尺度の例をみてみよう！ 尺度の項目から、安全な態度に関する視点を評価する。

今回の試行では、大学生 20 名を対象とする、動機オンライン型研修という形をとった。研修実施の汎用性を高めるための工夫として、インストラクタとデザイナーの区別を行うとともに、これまで作成した教材（一般知識の教材等）を活用した。この研修では、Miro というツールを使ったオンラインでの研修であるが、その時の議論の様子を図 3-4 に示す。

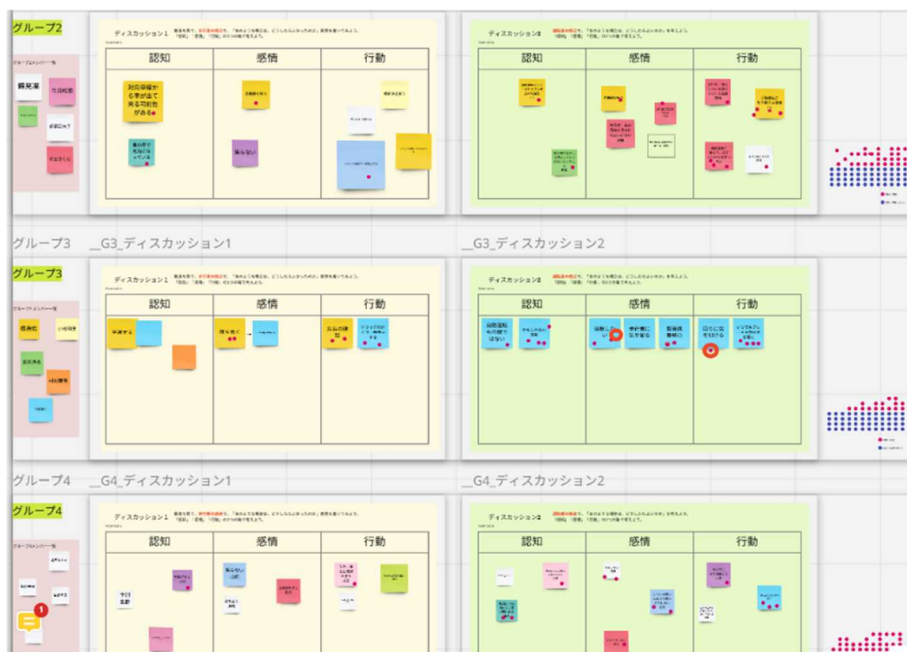


図 3-4 研修における議論の様子

研修の前後で、安全態度や知識についてアンケートを行い、比較を行った(表 3-2)。その結果、自動運転に関する知識の向上はもちろんのこと、安全態度において変容が見られた。

表 3-2 インフォーマル研修の結果

Paired Item (Post - Pre)	Mean	S.D.	Std. Error Mean	95% C.I.		t	df	Sig. (2- tailed)
				Lower	Upper			
				Post- Pre テスト合計点	2.294			
pst1. - pre1. 安全規則や決められた手順などは必ず守っている。	-0.059	0.243	0.059	-0.184	0.066	-1	16	0.332
pst2. - pre2. 大丈夫だと自信があるときには安全規則や決められた手順に従わないこともある。	0.118	0.993	0.241	-0.393	0.628	0.489	16	0.632
pst3. - pre3. 何かに取り掛かる前に決められた手順や安全上の注意点をチェックしている。	0.294	0.686	0.166	-0.059	0.647	1.768	16	0.096
pst4. - pre4. 過去に起きた事故やトラブル事例を何かをするときに反映させている。	0.529	0.8	0.194	0.118	0.941	2.729	16	0.015



### 3.3. 機会に応じた教育・訓練方法

#### 3.3.1. 自動運転についての一般知識： 一般知識についての教育は必要か

自動運転に関する一般知識についての教育が、自動運転システムの安全な利用に効果があるかどうかを検証することを目的として、座学による知識の提供ののち、DSでの検証実験を行った。

ここでの教材は、一般的知識についてのスライド読み上げ動画を用いることとした。ここでは、学習のための動機づけはなされているという想定である。実際に活用した教材のスライドを図 3-5 に示す。

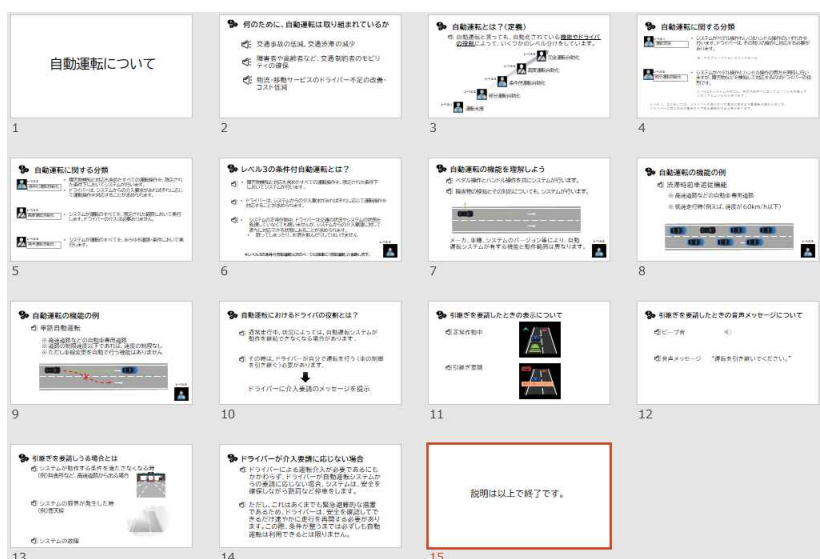


図 3-5 自動運転に関する一般知識の教材スライド

ここでは、教育方法（DS 実験の事前に行う一般的知識の教育について、有、無の 2 条件）と、年齢（高齢者、非高齢者）を独立変数とした。実験では、一般的知識の教育有群では、講習後約 1 か月の期間をあけて、DS 検証実験を行った。実験の結果、工事現場に遭遇した場面での運転交代において、事前教育無の高齢者群でとくに安全な引継ぎができた割合が少ないという結果になった（図 3-7）。また、雨天での介入後の最大操舵角速度において、一般知識の教育を行った場合に操舵角速度が小さいという結果を得た（図 3-6）。これらの結果から、自動運転に関する一般的な知識を事前に与えることには意義があることが確認できたとはいえる。

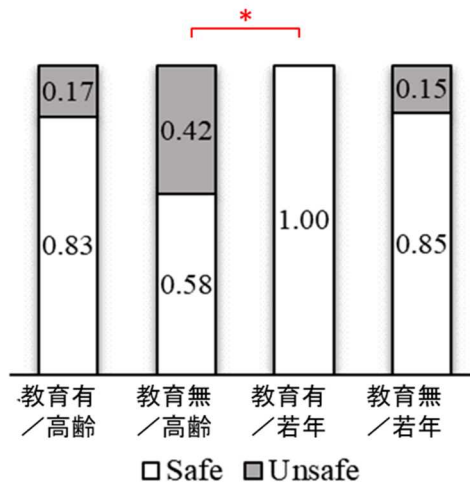


図 3-7 工事現場での運転交代における引き継ぎの結果（Safe=安全な引き継ぎができた、Unsafe=安全な引き継ぎができなかった）

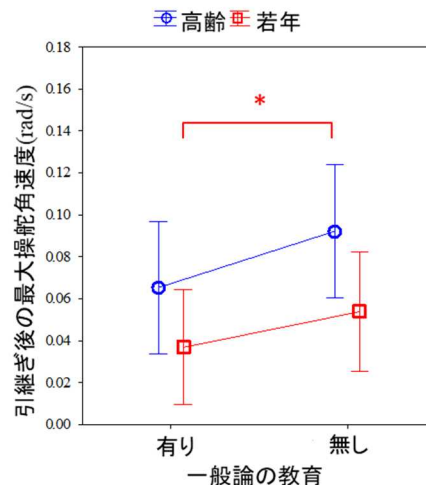


図 3-6 雨天による運転交代時の最大操舵角速度

### 3.3.2. 自動運転についての一般知識： 一般知識についての教育は短い時間で可能か

社会実装を考える場合、一般的知識の提供をどこまで時間や工数を削減できるかが重要な視点である。そこで、講習にかかる時間を、ごく短く設定した場合の効果について検証を行うこととした。この実験は、3.2.1 節で説明した実験である。この実験の結果のうち、実際に使用するシステムについて、最初の運転引き継ぎ場面ではスライド読み上げ群で自動運転解除前に運転介入を開始できた人の割合が 0.5、クイズ群では 0.29、動機づけ群では 0.33 となった。このことから、ごく短い時間での講習では、十分な安全の確保は期待できないと言

---

---

わざるを得ない。

したがって、講習で学んだことへの理解を定着させるための取り組みが必要となる。

### 3.3.3. 自動運転についての一般知識：理解を定着させる工夫

自動運転に関する一般的知識の講習において、学んだ内容への理解を定着させるための工夫として、本研究では次の2点に着目した。

- (1) 一般的知識の中に、あえて具体的な、特定のシステムについて言及する  
(学習者に印象を強く持たせることを狙う)
- (2) 運転交代要請 (Request to Intervene: RtI) が発せられたら、運転を引き継ぐという行為を体験する

上記2点の効果について、DS実験での検証を行った。この実験では、図3-5に示す資料と同程度に、必要な内容を必要な時間をかけて説明をするという講習を行っている(図3-8)。



図 3-8 一般知識の事前講習の様子

実験の条件としては、具体的なシステムの説明の有、無の2条件、運転引継ぎ体験の有無の2条件を組み合わせた、4つの条件を区別する。本実験では、各条件に10名ずつ、計40名の参加者を割り当てた。

- 条件1：一般論に関するスライド動画のみ
- 条件2：一般論に関するスライド動画＋特定のシステムによる例示説明
- 条件3：一般論に関するスライド動画＋運転引継ぎ体験
- 条件4：一般論に関するスライド動画＋特定のシステム＋運転引継ぎ体験

なお、運転引継ぎ体験においては、講習に使っているノート PC に、簡易シミュレータを内蔵し、運転交代要請メッセージを視覚・聴覚モダリティを用いて提示し、参加者はそれをみたら画面上のボタンを押すという行為を行わせている。これはごく簡易な体験であるが、実際の講習の場などでも十分可能な方法であり、こうした簡易な体験が意義を持つのかを確認するという実験である。

講習後約 1 か月の間をあけて、DS 実験を実施した。その結果、具体的な説明をふくめることによって、運転交代要請時の引継ぎが成功しやすくなるという結果を得た。代表的な結果を、図 3-9、図 3-10 に示す。今回は、そもそも、講習における説明を十分に行っているため、引継ぎの成功の割合が全体として高い。このため、体験の有無による効果は顕著ではなかった。

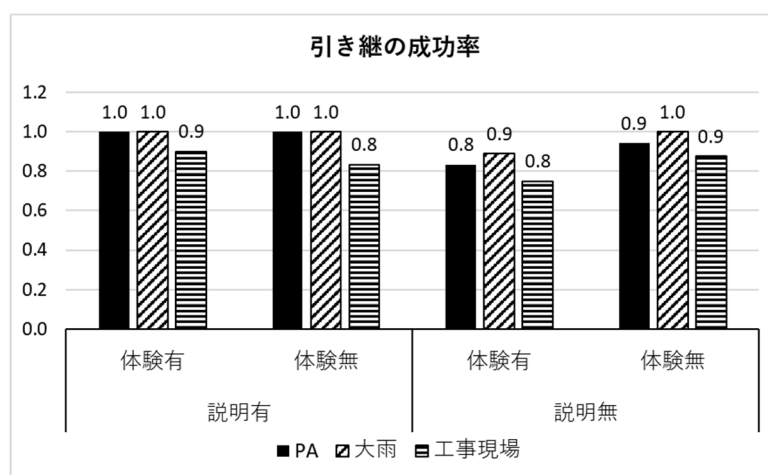


図 3-9 運転交代要請時の運転引継ぎの成功率（縦軸は、運転の引継が成功した人数の割合）

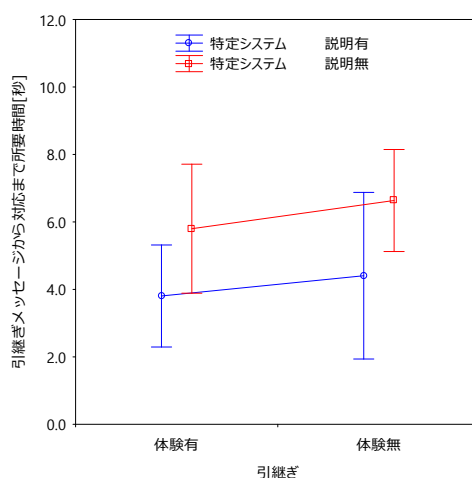


図 3-10 運転交代要請時の運転引継ぎを開始するまでの時間

---

---

3.3.2、3.3.3の結果から、一般的知識について説明すべき事項を、必要な時間をかけてしっかり説明することが重要であるといえる。また、説明においては、具体的なシステムの説明を織り込むなどの工夫が有効であるといえる。

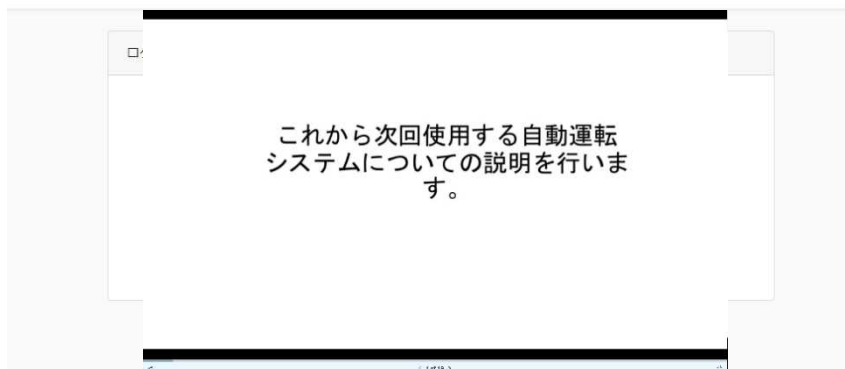
### 3.3.4. 特定のシステム固有の知識： e-Learning の活用

本実験では安全運転教育において自動運転に関する一般的な知識を前提として、特定のシステムについて提供すべき知識の項目を整理、その有効性を DS 実験によるその効果を評価することを目的とした。また、講習の時間的な効果を評価する必要があると考えられることから、知識の講習と DS 検証実験に分け、間に1ヶ月程度空ける実験を計画した。

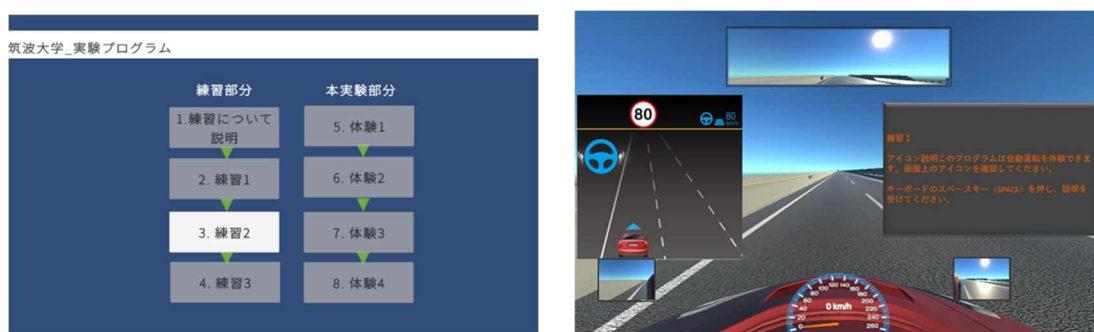
本実験では、普通運転免許を有する48名が参加している。本実験では、特定のシステムに関する知識の伝達（教示）及び引継ぎ体験のために、リモート実験用のツール（図3-11）を開発した。図3-11(b)に示したのが使用する特定システムの説明の一例であり（なお、特定の自動運転システムが車線変更機能付きのSAEレベル3に相当する自動運転機能を使用した）、図3-11(c)に示したのが説明された特定システムを用いた運転引継ぎを体験する一例である。この体験では、3.3.3とは異なり、実際にドライバーが使用するHMI（Human-Machine Interface）の映像や音声提示される。

図DS

(a) リモート実験のログイン画面



(b) リモート実験における特定システムを説明する教示画面



(c) 引継ぎ体験用メイン画面とシミュレーション画面

図 3-11 リモート実験用ツール



図 3-12 検証用 DS

本実験では、実際にドライバーが利用するシステムを、ディーラーなどの販売の場での知識伝達ではなく、ドライバーが自分の時間の都合に合わせて、オンデマンドで、リモート環境で学ぶということを想定する。この場合、ドライバーに提供されるべき知識を伝達する際（動画を閲覧するなどする際）、下記

---

---

の 2 つの方式を考えることができる。

- ユーザベース：参加者自身が、自身のペースで資料を閲覧し、理解したら次へ進む作業を行うという方法である。なお、必要に応じて資料の前戻りも可能である；
- 説明者ベース：実施者による提供された動画を視聴するという方法である。

ユーザベースの方式では、自身の理解に合わせて進めることができる反面、学習意欲の低い人の場合は読み飛ばしが発生するなど、知識の伝達が十分に行われないう可能性がある。他方、説明者ベースでは、必要と思われる時間をかけてじっくり説明をすることから、ユーザが真剣に視聴すれば知識の伝達は成功すると期待できる反面、ユーザがついていけなくなるなどのことも危惧される。どちらにも一長一短があると思われることから、具体的なシステムの利用に際し必要な知識を得るという文脈の中で、ユーザベースか説明者ベースかのいずれかを選ばなければならないとしたらどちらがよりよい方式かをこの実験において検討する。

なお、本実験では、引継ぎの体験は体験ありと体験なし 2 つの条件がある。一般的知識の講習の中では、運転引継ぎ体験は十分な効果をもたらすという結果は得られなかったものの、実際にドライバーが利用する特定のシステムに関してであれば、学習者が意欲をもって取り組むことも期待されることから、あらためて検証を行うものである。

すべての実験参加者は初日にリモート実験によるシステム説明と引継ぎの体験を経験し、2 日目の DS 検証実験に参加した。なお、時間的効果を評価するのに、初日と 2 日目の実験の間に 30 日以上を空けた。詳細な実験の流れを表 3-3 実験の流れ、に示す。

表 3-3 実験の流れ

実験日	実施内容
1 日	実験全体及び初日の説明
	リモート実験参加に関するインフォームドコンセント
	2 日目使用する自動運転システムの教示
	引継ぎ体験
	リモート実験ツールに関するアンケート
2 日目	2 日目の実験説明
	DS 実験参観に関するインフォームドコンセント
	DS に関する運転操作の説明と練習
	実験中実施することの説明（安全運転と副次タスク）
	データ収集
	自動運転に対する態度に関するアンケート

図 3-13 検証用シーンに、本 DS 検証実験においてドライバーによる引継ぎが必要となる検証シナリオ（大雨とパーキングエリア）を示した。



(a) 大雨による機能限界（Raining）



(b) パーキングエリアへ進んで高速道路から脱出（PA）

図 3-13 検証用シーン



本実験における代表的な結果を図 3-14 に示す。

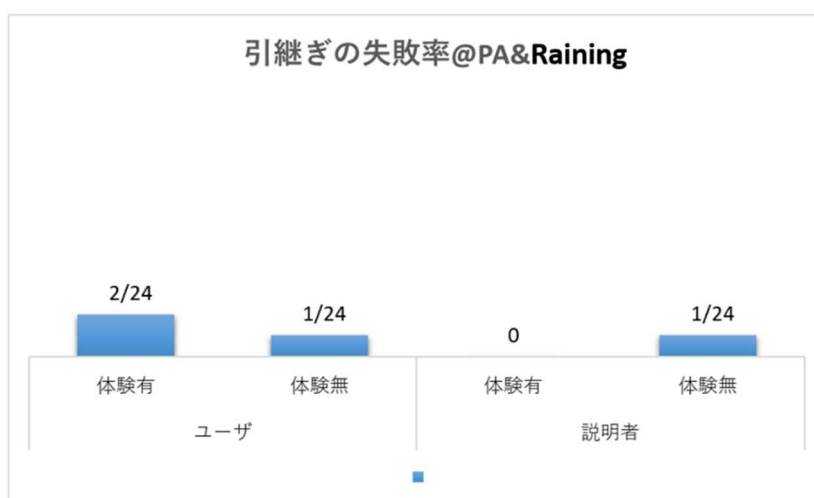


図 3-14 引継ぎ要請が発動した時引継ぎの失敗率

ここでの引継ぎの失敗とは、「引継ぎ無し・遅れ及び引継ぎによる事故」を意味する。なお、引継ぎの遅れは自動運転機能が自動的に解除された後、ドライバーが操舵やペダル操作を行うこととする。図 3-14 は、引継ぎの失敗率である。説明者ベース・引継ぎ体験ありのグループは最も失敗が少ないという結果を得た。

図 3-15 に、PA と Raining の 2 シーンにおける引継ぎ要請から引継ぎまで所要時間を示した。Raining シーンにおいて教示方法の主効果のみ有意な傾向が見られた ( $F(1,42) = 3.022, p = .090, \eta^2 = .065$ )。一方、PA シーンにおける所要時間は説明者ベースの条件における体験有無の間に平均で 1.3 秒の違いが見られたことから、引継ぎ体験の効果が示唆された。

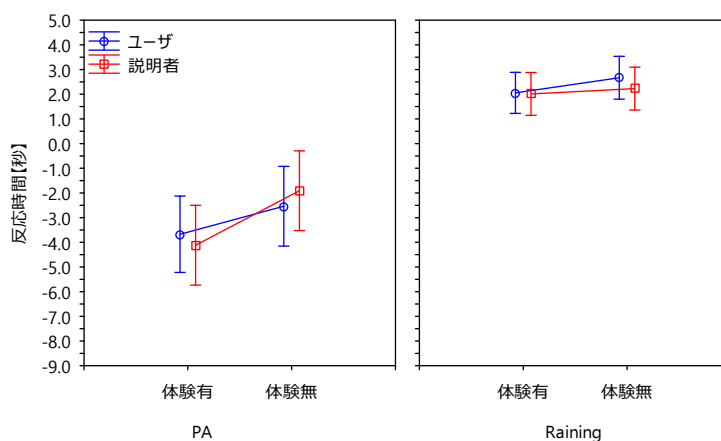


図 3-15 運転交代要請から引継ぎ開始までの所要時間

---

---

以上の結果から、ユーザベース・説明者ベースの差異については明確な結論を得ることはできなかったが、ユーザベースによる教示方法が比較的に不安全な引継ぎをもたらすことが示唆された。実際、ユーザベースの場合、視聴すべき動画のほとんどをスキップする参加者も確認されている。引継ぎの体験は、出口での制御終了といった計画的シーンでは、運転引継ぎ体験をしておくことがよい結果をもたらすといえる。突然の雨のようなシーンでは体験の効果は十分には確認できなかったが、全体としては運転引継ぎ体験をすることに意義があるといえる。

結論として、オンデマンドの e-Learning のシステムは、ディーラー等時間の制約が著しい場での知識・スキルの伝達を補うものとして効果が期待できるといえる。運転引継ぎ体験は、たとえ、ハンドル・ペダルのない PC 環境でも、実際の表示に即して反応するという体験が、実世界での運転交代を安全に行うことによい効果をもたらすといえる。

### **3.4. 学習者の多様性への対処**

#### **3.4.1. 学習スタイル、キャリアレジリエンスの縮小版を活用したアダプティブラーニング**

自動運転のことを学ぶ学習者が効率的に学習を進めるために、個人の学習スタイルなどに合わせて適切な教材を選ぶことが望ましい可能性がある。そこで、個人差を吸収するべく教材を選ぶ方式について検討をした。

この研究は、ウェブ調査にておこなった。教材で学習する前の自動運転に関する知識を問うテスト (pretest)、学習後の自動運転に関する知識を問うテスト (posttest) の成績について、事前のテストの得点を低中高の 3 グループに分け、教材について 3 つの異なる条件 (テキストを参加者が自身で読む (TEXT)、クイズに答えながら学習を進める (Interactive)、講習内容をスライドにした動画を読み上げる (Video)) で比較をした。その結果、いずれの群において、クイズ (Interactive) とスライド読み上げ (Video) で得点の上昇率が高いという結果を得た。

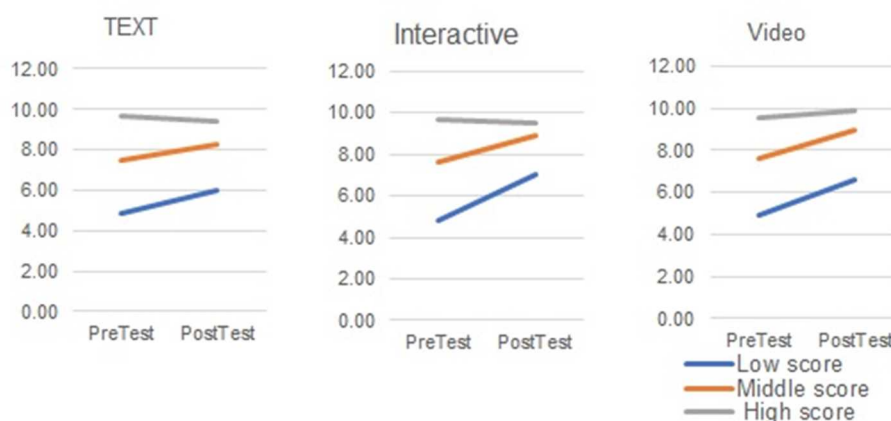


図 3-16 ウェブ調査における、事前得点低中高による講習事後得点の上昇率

つづいて、学習スタイル、キャリアレジリエンスに着目し、それぞれの傾向と適切な教材について、同じくウェブ調査で検証を行った。学習スタイル、キャリアレジリエンスについては、講習等で簡易に計測できるようにするための短縮版質問紙を開発した（表 3-4、表 3-5）。

表 3-4 学習スタイル短縮版

	Item
ACT_REF	37. I am more likely to be considered
	25. I would rather first
	33. When I have to work on a group project, I first want to
SEN_INT	22. I am more likely to be considered
	38. I prefer courses that emphasize
	30. When I have to perform a task, I prefer to
VIS_VER	31. When someone is showing me data, I prefer
	11. In a book with lots of pictures and charts, I am likely to
	19. I remember best
SEQ_GLO	20. It is more important to me that an instructor
	36. When I am learning a new subject, I prefer to
	32. When writing a paper, I am more likely to

ACT\_REF: Active – Reflective, SEN\_INT: Sensing – Intuitive, VIS\_VER: Visual-Verbal, SEQ\_GLO: Sequential-Global

---

---

表 3-5 キャリアレジリエンス短縮版

Item
1. I think my future outlook is bright.
2. I have hope for my future.
3. I'm sure there is something good in my future.
4. I'm good at making people laugh.
5. I'm good at talking funny.
6. I'm not good at saying humor.
7. I want to know a lot.
8. I have a strong interest in things.
9. I like new things and unusual things.
10. I am a person who can flexibly respond to changes in the surroundings.
11. I am a person who can adapt to changes in the environment.
12. I can overcome any problems at work in my own way.
13. I treat people with compassion.
14. I am kind to others.

決定木分析（図 3-17）の結果、学習スタイルとキャリアレジリエンスの特徴に応じた、より効果的な教材を特定することができた（表 3-6）。

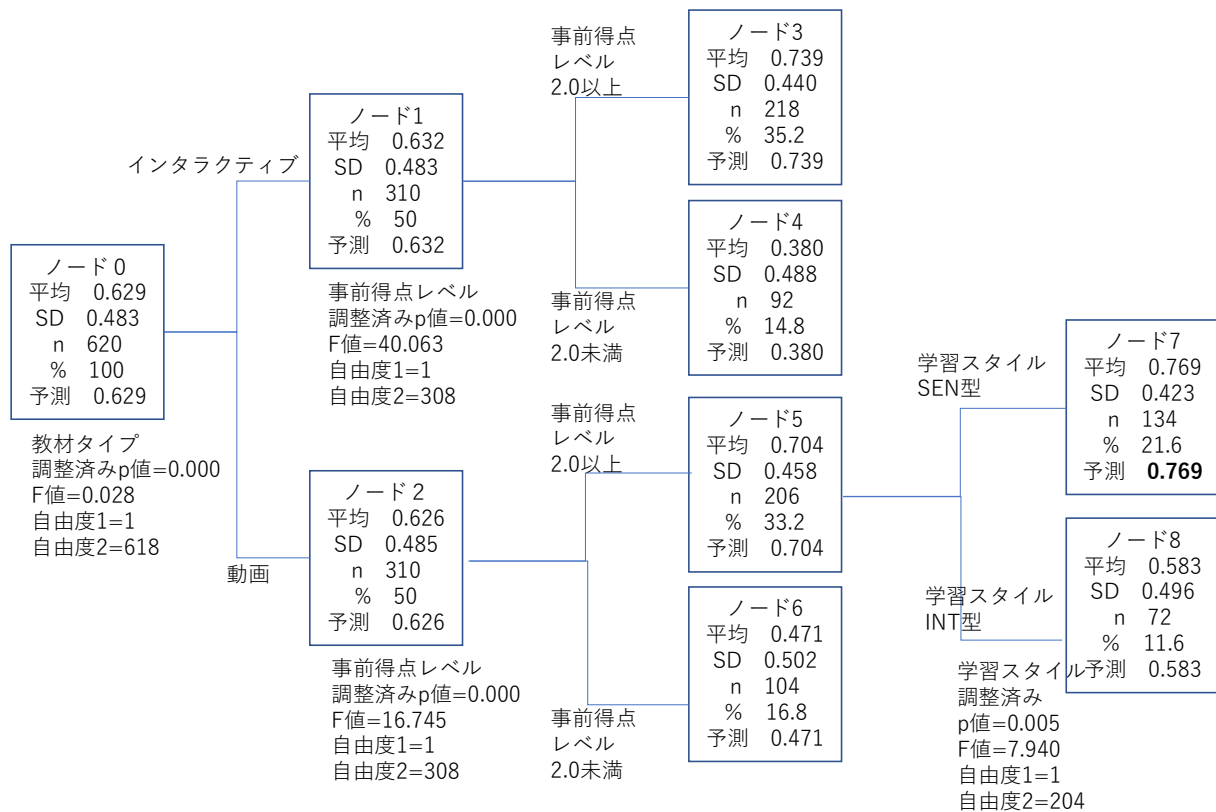


図 3-17 学習スタイルとキャリアレジリエンスの特徴に応じた効果的な教材を特定するための決定木分析

表 3-6 学習スタイルとキャリアレジリエンスの特徴に応じた効果的な教材

	学習スタイル			
キャリアレジリエンス	ACT-SEN 3	REF-SEN 2	ACT-INT 1	REF-INT 0
レジリエンス低 2 以下	インタラクティブ	インタラクティブ	インタラクティブ	インタラクティブ
レジリエンス中 = 3	動画	インタラクティブ	インタラクティブ	動画
レジリエンス高 >= 4	動画	テキスト	動画	テキスト

---

---

### 3.5. 成果の活用

本研究課題で得られた成果とその活用方法を端的にまとめると、図 3-18 のようになる。今後、自動運転の社会実装において広く活用されることを期待する。

なお、とくに、教育の企画、教材の作成に資する知見を整理した「解説書」（目次を図 3-19）を本研究課題では取りまとめてあり、SIP のウェブサイト（<https://www.sip-adus.go.jp/showcase/d3.html>）にて公開している。また、この解説書の付録として、動機づけ、自動運転に関する一般知識についてのサンプル動画もつけてあるので参考にされたい。

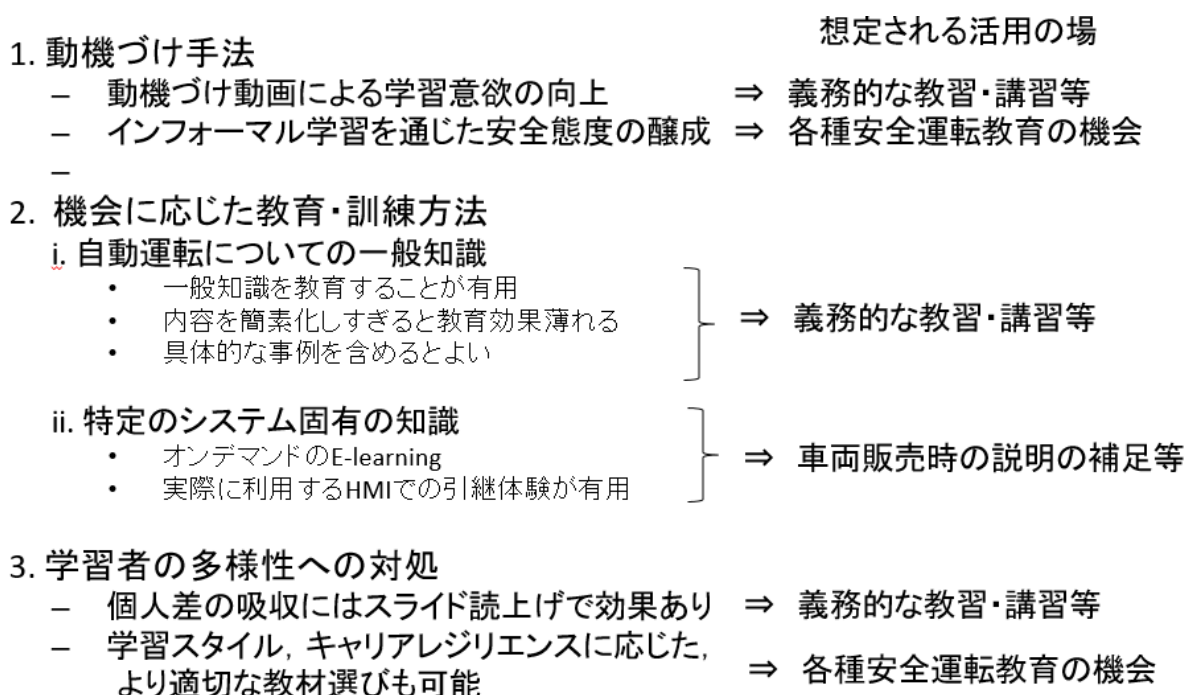


図 3-18 課題 C における成果とその活用方法

---

---

## 目次

1. まえがき
2. 自動運転/運転支援に関する教育の必要性和役割
3. 教育の機会の多様性
4. 教育方法の検討におけるインストラクショナルデザインの重要性
5. 自動運転/運転支援を学ぶことの動機づけ
  - 5.1 動機づけの重要性
  - 5.2 動機づけの方法：動画教材の活用
  - 5.3 動機づけの方法：インフォーマル学習
- 6 運転支援一般知識の教育方法：ドライバーの役割へのフォーカス
- 7 理解を深め、定着させるための工夫
  - 7.1 理解を深めるための文章表現
  - 7.2 教材のタイプの利害得失と選び方（テキスト、スライド読み上げ動画、クイズ）
  - 7.3 理解を定着させるための工夫
8. 教育機会の拡大
  - 8.1 リモート教育の活用
  - 8.2 体験の効果
9. おわりに

図 3-19 解説書の目次